

SOLNICTWO W XXI WIEKU – AKTUALNE PROBLEMY GEOLOGII UTWORÓW SOLNYCH W POLSCE

SALT IN 21ST CENTURY – CURRENT PROBLEMS OF SALT GEOLOGY IN POLAND

KRZYSZTOF BUKOWSKI¹, GRZEGORZ CZAPOWSKI²

Abstrakt. W artykule przedstawiono aktualny stan wiedzy nt. geologii utworów solnych cechsztynu i miocenu w Polsce, opierając się na najważniejszych opublikowanych wynikach badań prowadzonych od początku XXI w. Autorzy przeglądowo omawiają osiągnięcia w różnych dziedzinach – stratygrafii, sedimentologii, geochemii, mineralogii, tektoniki, hydrogeologii i badań geofizycznych utworów solnych oraz przedstawiają obecny stan udokumentowanych i szacunkowych zasobów soli w Polsce. Analizują także różne formy zagospodarowania wystąpień soli (produkcja soli kruszonej i solanki, magazyny mediów i składowiska odpadów) oraz postępskoplatacyjnego funkcjonowania kopalń, wskazują istotne ich zdaniem kierunki, w których winny być prowadzone dalsze badania.

Słowa kluczowe: sole, stan wiedzy, geologia, Polska.

Abstract. This article provides an overview on the current state of knowledge on salt geology in Poland. Salt occurs in Poland in two salt-bearing formations: Zechstein (Permian) and Miocene (Neogene). The review briefly presents information on the various aspects of salt mining as well as description of results of different research topics discussed by scientists since the beginning of the 21st century: stratigraphy, sedimentology, geochemistry, mineralogy, geophysics, tectonics, hydrogeology as well as reserves and resources of salt deposits. Various forms of management of salt occurrences (crushed salt and brine production, storages of media, and waste disposals) and the post-mining activity of salt mines are commented. This review is based on extensive literature and proposes main directions of future studies in salt geology of Poland.

Key words: salts, state of the art, geology, Poland.

WSTĘP

Celem niniejszego artykułu jest ukazanie w sposób syntetyczny aktualnego stanu wiedzy geologicznej o utworach solnych w Polsce. Wybór ten jest z konieczności subiektywny a zakres zaprezentowanej tematyki ograniczony, co wynika z ogromnej ilości rozproszonej informacji. Autorzy mają jednak nadzieję, że będzie to swoisty przewodnik bibliograficzny po tematyce badawczej realizowanej w XXI w. w dziedzinie solnictwa w Polsce. Problematyka geologiczna w zakresie badań utworów solnych była i jest realizowana w placówkach akademickich (Akademia

Górnictwo-Hutnicza, Uniwersytet Wrocławski, Uniwersytet Poznański, Uniwersytet Warszawski, Uniwersytet Jagielloński), instytutach badawczych i ośrodkach badawczo-rozwojowych (Polska Akademia Nauk, PIG-PIB, OBR GSCh Chemkop, Centrum Badawczo-Rozwojowym KGHM CUPRUM) oraz w zakładach wydobywczych, eksploatujących złoża soli lub zabezpieczających dawne kopalnie jako obiekty muzealno-turystyczne. Ponadto państwowe (np. PGNiG S.A., Gaz-System S.A.) i prywatne przedsiębiorstwa wykonują badania geologiczne formacji

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: buk@agh.edu.pl.

² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: grzegorz.czapowski@pgi.gov.pl.

solnych w ramach koncesji rozpoznawczych i eksploatacyjnych. Wszystkie te działania przyniosły w ciągu kilku ostatnich dziesięcioleci bardzo bogaty materiał informacyjny, którego część została opublikowana w pismach branżowych i ogólnopolskich periodykach geologicznych, rzadziej zaś wybrane dane przedstawiono w monografiach i pismach zagranicznych.

Powstałe w 1991 r. Polskie Stowarzyszenie Górnictwa Solnego (PSGS; www.psgs.agh.edu.pl) skupia ludzi związanych z polskim górnictwem solnym (od górników, po menedżerów i naukowców), pracujących w kopalniach, biurach projektowych, jednostkach naukowych i akademickich. Coroczne sympozja PSGS są miejscem wymiany aktualnej informacji o stanie polskiego solnictwa, zaś materiały konferencyjne i sygnowane przez stowarzyszenie publikacje, stanowią obecnie główne źródło wiedzy o postępie w rozpoznaniu utworów solnych w Polsce. Autorzy, jako członkowie PSGS, prezentują poniżej wybrane, ważne ich zdaniem zagadnienia, uwidaczniające się podczas badań geologicznych utworów solnych. W artykule przedstawiono aktualny stan wiedzy na podstawie najważniejszych opublikowanych prac po 2000 r. (pominięto tu informacje zawarte w licznych komunikatach konferencyjnych i niepublikowanych opracowaniach archiwalnych).

Ponadto wskazano problemy, które wymagają dalszych badań oraz zasugerowano kierunki badawcze dotychczas niepodejmowane.

Spośród dwóch najważniejszych formacji solonośnych w Polsce starsza, datowana na późny perm (cechsztyń), występuje na ponad 60% powierzchni kraju. Składają się na nią cztery kompleksy solne, wkomponowane w cztery cyklotemy. Są one obecnie głównym przedmiotem eksploatacji górniczej, a ich oszacowane zasoby stanowią jedno z największych bogactw surowcowych Polski. Druga, znacznie młodsza (środkowy miocen) formacja solonośna występuje w utworach zapadliska przedkarpackiego, a także częściowo pod Karpatami. Jej niegdyś kluczowe znaczenie w pozyskiwaniu soli ma obecnie charakter historyczny, wybudowane natomiast kopalnie zaprzestały wydobywania soli i pełnią funkcje muzealne oraz turystyczno-rekreacyjne. Niemniej jednak doświadczenia nabyte podczas stuleci rozpoznania i zagospodarowywania wystąpień tych złóż posłużyły do rozpoznania i udostępnienia wspomnianej cechsztyńskiej formacji solonośnej. W poniższym przeglądzie aktualnego stanu wiedzy geologicznej o występowaniu soli w Polsce przyjęto zasadę ich starszeństwa, stąd wyraźny rozdział informacji dotyczących utworów wieku cechsztyńskiego i mioceńskiego.

STRATYGRAFIA, WYKSZTAŁCENIE I WARUNKI POWSTANIA UTWORÓW SOLNYCH W POLSCE

CECHSZTYN

Intensywne badania ewaporatów późnego permu (cechsztyń) w Polsce, a w szczególności utworów solnych, prowadzone w ostatnim półwieczu pozwoliły lepiej poznać ich wykształcenie, stratygrafię i warunki powstania. W ostatnich latach podjęto próbę (Czapowski, 2007) określenia inicjalnej głębokości zbiornika solnego (od kilkudziesięciu do ponad 100 m w basenach marginalnych depozycji soli cyklu PZ1) i oszacowania czasu trwania osadzenia dominującej części sukcesji ewaporatowej w Polsce (cykle od PZ1 do PZ3 to ponad 70% miąższości profilu utworów cechsztyń). Czas ten stanowi od ok. 0,3 do 3,5% czasu trwania całego cechsztyń, co dowodzi ogromnej roli depozycji ewaporatów w budowaniu sukcesji osadowej, a zarazem efemeryczności tych zjawisk.

Roboty górnicze prowadzone na obszarze górniczym kopalni miedzi Sieroszowice na terenie Lubińskiego-Głogowskiego Okręgu Miedziowego pozwoliły na lepsze rozpoznanie wykształcenia i budowy tektonicznej występującego tu kompleksu najstarszej soli kamiennej cechsztyń (Banaszak i in., 2007; Burliga, 2007; Garlicki i in., 2007; Markiewicz, 2007; Markiewicz, Becker, 2009; Tobała, 2014). Dalsze rozpoznanie otworami wiertniczymi wysadu solnego Mogilno przyniosło uściślenie wydzielenia litostratigraficznych w obrębie słupa solnego (Wachowiak i in., 2012), wykorzystanie zaś wybranych danych otworowych z pobliskiego wysadu solnego Góra, pozwoliło po raz

pierwszy na bardziej szczegółową interpretację budowy wewnętrznej wysadu (Czapowski i in., 2009b).

Interpretacja danych sejsmicznych utworów cechsztyńskich z południowego zachodu Polski umożliwiła odtworzenie istniejącego wówczas systemu basenów ewaporatowych, w których utwory solne występowały w obniżeniach morfologicznych (Dyjaczynski, Peryt, 2014). Podjęto też próbę wytłumaczenia, na bazie modeli depozycji ewaporatów rejestrowanych, stosunków miąższościowych osadów chlorkowych i siarczanowych w profilach cechsztyń na obrzeżu basenu permskiego w Polsce, wskazując zarazem obszary o potencjalnie korzystnych relacjach grubości soli do siarczanów (seria uszczelniająca) w celu wykorzystania kompleksów solnych pod budowę kavern magazynowych i składowisk (Czapowski, Tomaszczyk, 2014).

Wykonano aktualizację stratygrafii w wysadzie solnym Kłodawy i na obszarze przyległym, wskazując na występowanie najstarszej soli kamiennej w wysadach oraz aktualizując profile cyklotemów PZ1 i PZ2 w centralnej części basenu cechsztyńskiego (m.in. Burliga i in., 2005, 2008). Badaniem objęto węglowodory występujące w wysadzie kłodawskim, na podstawie ich analiz wykonano interpretację stref gazodynamicznych oraz określono ich genezę (Burliga i in., 2005, 2008; Burliga, Czechowski, 2010; Czechowski i in., 2011; Wagner, Burliga, 2014; Wolny i in., 2014). Wykonany po raz pierwszy model cyfrowy 3D budowy pokładowego złoża soli kamiennej Mechelinki (Czapowski i in., 2007) pozwolił przedstawić litologiczne

i geochemiczne zróżnicowanie pokładu soli, co ma kluczowe znaczenie dla projektowania robót geologicznych i górniczych.

MIOCEN

W ostatnich latach, opierając się na danych archiwalnych (dokumentacje ponad 600 otworów wiertniczych oraz wybranych profili sejsmicznych), wykonano analizę współczesnego zasięgu występowania serii solnych w zachodniej części zapadliska przedkarpackiego (Bukowski, 2011). Na ich podstawie stwierdzono zależność pomiędzy typem i natężeniem sedymentacji ewaporatowej a morfologią podłoża przedmioceniowego. Rejestrowane wcześniej różnymi metodami geofizycznymi, a potwierdzone ostatnio sejsmiką 3D (Krzywiec i in., 2014; Głuszyński, Aleksandrowski, 2014), istniejące w podłożu głębokie paleodoliny stanowiły morfologiczne obniżenia, którymi grawitacyjnie spływały cięższe solanki. Gromadziły się one następnie w najgłębszych częściach basenu ewaporatowego w postaci soli kamiennych z przewarstwieniami zubrów, osadów terygenicznych oraz anhydrytów. Brak ewaporatów na nachylonych skłonach paleodolin, obserwowany na przekrojach sejsmicznych oraz w otworach wiertniczych, to prawdopodobnie wynik erozji i/lub ruchów masowych (Bukowski, 2011; Głuszyński, Aleksandrowski, 2016). Krystalizacja siarczanów (gipsów) odbywała się na wyniesieniach, które jednocześnie dzieliły basen salinarny na szereg subbasenów oraz utrudniały przepływ prądów cięższej, nasyconej solanki pomiędzy jego poszczególnymi częściami (Bukowski, 2011).

Wyniki datowania radiometrycznego tufitu występującego tuż poniżej serii solnej w Wieliczce wykazały, że początek badeńskiego kryzysu salinarnego nastąpił ok. 13,81 ± 0,08 Ma (de Leeuw i in., 2010). Sedymentacja salinarna osiągnęła swój maksymalny zasięg ok. 13,6 Ma, na co wskazują wyniki datowania poziomów tufitowych ze środkowej części profilu serii solnej w kopalni w Bochni (13,6 ± 0,2 Ma, Dudek i in., 2004; 13,58 ± 0,072 Ma, de Leeuw i in., 2010). Schyłek badeńskiego kryzysu salinarnego nastąpił przed osadzeniem się tufitu z serii nadewaporatowej z otworu Babczyn-2, datowanego radiometrycznie na 13,06

± 0,11 Ma (Śliwiński i in., 2012). Oznacza to, że badeński kryzys salinarny trwał co najmniej 400 tys. lat, w warunkach zmieniającego się i tektonicznie kontrolowanego środowiska sedymentacji. Jego początek jest wiązany z rejestrowanym w wielu miejscach na kuli ziemskiej globalnym ochłodzeniem (Mi3b). Na Górnym Śląsku w osadach podewaporatowych ochłodzenie to zaznacza się zmianą wartości izotopów tlenu i węgla w skorupkach otwornic (Gonera, Bukowski, 2012). Obliczone na tej podstawie paleotemperature wód basenu śląskiego wykazały, że oziębienie wód morskich w pobliżu dna można szacować na ok. 2–3°C, a w toni morskiej (pelagial) nawet na ok. 7°C (Bukowski, 2011). Ten spadek temperatury wód morskich zaznaczył się ekspansją otwornic planktonicznych zimnolubnych, które całkowicie zastąpiły zespoły otwornic planktonicznych ciepłolubnych (Gonera, 2001; Bicchi i in., 2003; Bukowski i in., 2014). Podobne zmiany składu izotopowego były rejestrowane dla zespołów otwornicowych pochodzących zarówno z osadów podsolnych (Gonera i in., 2012), jak i z ilowców marglistych złoża bryłowego w Wieliczce (Gonera i in., 2014).

Uważa się, że podczas globalnego oziębienia klimatu (Mi3b), w wyniku rozwoju czapy lodowej w rejonie Antarktydy, mogło dojść do spadku poziomu oceanu nawet o kilkadziesiąt metrów (de Leeuw i in., 2010). Spowodowało to izolację Paratetydy Centralnej, ograniczenie wymiany wód w rejonie cieśnin pomiędzy poszczególnymi basenami, a w konsekwencji zamknięcie bardzo zasolonych wód w głębszych częściach zapadliska przedkarpackiego i w basenach wewnątrzkarpackich. Tak więc następujący zespół przyczynowo-skutkowy wywołany zmianami eustatycznymi, a w mniejszym stopniu klimatycznymi, czy tektonicznymi, stał się bezpośrednią przyczyną badeńskiego kryzysu salinarnego na całym obszarze karpackim (de Leeuw i in., 2010).

Próbą praktycznego wykorzystania wyników badań facjalnych utworów solnych różnego wieku (cechsztyn, trias i miocen) było wskazanie przydatności wyróżnionych litofacji solnych do określonych form zagospodarowania, takich jak: eksploatacja, magazynowanie węglowodorów i składowanie odpadów (Czapowski i in., 2004) ze wskazaniem przykładowych miejsc ich występowania.

PETROLOGIA, MINERALOGIA I GEOCHEMIA UTWORÓW SOLNYCH

CECHSZTYN

Bogate informacje, archiwalne i pozyskane podczas nowych badań, na temat składu chemicznego różnowiekowych osadów solnych w Polsce pozwoliły przedstawić charakterystykę składu chemicznego wyróżnionych kopalnych litofacji solnych (Czapowski i in., 2001) oraz wykształcenie i skład chemiczny utworów, które budują potasowo-solny poziom cyklotemów PZ2 i PZ3 cechsztynu (Czapowski i in., 2012).

W ostatnich latach, bazując na bogatym materiale badawczym z rdzeni wiertniczych otworów badawczo-

-eksploatacyjnych wykonywanych w wysadzie Mogilno, prowadzone są wszechstronne badania geologiczne nad rozpoznaniem budowy tego złoża: geofizyczne (Tadych i in., 2014), litostratygraficzne (Wachowiak i in., 2012), mineralogiczno-petrograficzne (Natkaniec-Nowak i in., 2014; Wachowiak i in., 2014) i hydrogeologiczne (Wachowiak, Kasprzak, 2014).

Szczegółowe badania minerałów trudno rozpuszczalnych w wodzie, wydzielonych ze skał solnych Kłodawy i Mogilna, zaowocowały zidentyfikowaniem nowych minerałów występujących w polskich cechsztynskich złożach solnych (Wachowiak, 2003). Należą do nich borany: kongolit (Fe, Mg, Mn)₃B₇O₁₃Cl, trembatyt

(Mg, Fe, Mn)₃B₇O₁₃Cl (Wachowiak, Pieczka, 2012) a także motukoreait Mg₆Al₃(OH)₁₈[Na(H₂O)₆][SO₄]₂·6H₂O (Wachowiak, Pieczka, 2016).

Na podstawie mikroskopowych obserwacji transformacji fazowych zachodzących w minerałach boranowych (boracycie i kongolicie), występujących w wysadach solnych Kłodawa, Mogilno, określono temperatury tych przemian w warunkach laboratoryjnych, wskazując jednocześnie na wysokie temperatury (powyżej 320°C bez uwzględnienia parametru ciśnienia) panujące w niektórych partiach tych wysadów w geologicznej historii ich formowania (Wachowiak, Toboła, 2014). Badania składu mineralnego części nierozpuszczalnych soli z Kłodawy pozwoliły na wydzielenie poziomów mineralnych – kwarcowego, boranowego, hydrotalkitowego i kongolitowego (Wachowiak, 2010). Poziomy te mogą znaleźć zastosowanie w korelacji soli cechsztyńskich.

Badania soli niebieskich w wysadzie kłodawskim początkowo dotyczyły głównie rozprzestrzenienia tych soli w kopalni w stosunku do skał otaczających, mineralogicznego składu (minerały towarzyszące) oraz zmienności barwnej. Wykazały one, że sole niebieskie są epigenetyczne i występują w formie żył lub gniazd we wszystkich wydzieleniach litologicznych cechsztynu znanych w kopalni kłodawskiej (Natkaniec-Nowak, Toboła, 2003). Szczegółowe badania mineralogiczne wykazały obecność bardzo licznych i nietypowo wykształconych inkluzji stałych oraz fluidalnych. Badania strukturalne halitu niebieskiego ujawniły odstępstwa od regularnej struktury, wynikające z obecności licznych defektów strukturalnych. Inkluzje fluidalne oraz skład mineralny wskazują, że tego typu żyły soli powstały w warunkach redukcyjnych i w temperaturze przekraczającej 300°C (Toboła i in., 2007; Zelek i in., 2008, 2014; Weselucha-Birczyńska i in., 2008; Toboła, 2016). Wysokie temperatury homogenizacji inkluzji w automorficznym anhydrycie (ponad 400°C) jako fazy stałej w inkluzjach w obrębie kryształów halitu niebieskiego z wysadu kłodawskiego sugerują obecność roztworów hydrotermalnych w tym wysadzie (Toboła, 2016).

Osobną grupę badań stanowiły badania składu chemicznego inkluzji fluidalnych (Kovalevich i in., 2000), które wskazują na zmiany składu pierwotnej solanki w basenach salinarnych na terenie Polski. Wraz z komponentami stałymi dowodzą powstawania pierwotnego sylwinu w zbiorniku ewaporacyjnym (Vovnyuk, Czapowski, 2007). Charakterystycznie wykształcone sole bitumiczne, występujące w wysadzie kłodawskim, zawierają kilka typów inkluzji różniących się charakterystyką petrologiczną oraz składem chemicznym węglowodorów. Świadczy to o wieloetapowej migracji węglowodorów w obrębie wysadu solnego (Toboła, 2010; Weselucha-Birczyńska, Toboła, 2016).

Wykonano także szczegółowe rozpoznanie budowy tzw. czap gipsowych, przykrywających stropowe partie wysadów solnych. Badania wykazały, że w ich skład wchodzi nie tylko minerały rezydualne, pochodzące z rozpuszczenia mas solnych, czyli głównie anhydrytu, który ulega uwodnieniu, lecz także całe fragmenty skał siarczanowych, czy nawet

węglanowych, należących do kompleksu cechsztyńskiego. Fragmenty te stanowią porwaki w obrębie utworów czapy (np. Wilkosz, 2007; Jaworska, Nowak, 2013). Najlepiej rozpoznana pod tym względem jest czapa wysadu solnego Wapna (Jaworska, Ratajczak, 2008; Jaworska i in., 2010). Analizy petrograficzne utworów czapy pozwoliły na wyróżnienie wielu odmian struktur i tekstur tych skał, np. gipsy mylonityczne, gipsy drobno-, średnio i grubokrystaliczne, gipsy soczewkowate (wrzecionowate) (Jaworska, Ratajczak, 2008; Jaworska, 2012). Dodatkowo szczegółowe badania mineralogiczne wykazały obecność w obrębie czap takich minerałów jak: galena, sfaleryt, glaukonit, celestyn, magnezyt i kwarc (Jaworska, Ratajczak, 2008). Kwarc, którego obecność odnotowano w utworach czapy i skałach solnych, stał się przedmiotem osobnych badań, a dyskusja na temat jego genezy przedstawiona jest w pracach Jaworskiej (2004) oraz Toboły i Jaworskiej (2014). W ostatnich latach podjęto próby określenia składu izotopowego jonu siarczanowego ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{34}\text{S}$) i wody krystalizacyjnej ($\delta^{18}\text{O}$) gipsów należących do czap wysadów solnych Wapna i Mogilna (Jaworska, 2010; Jaworska, Wilkosz, 2012). Analizy izotopowe jednoznacznie wykazały, że jon siarczanowy wchodzący w skład gipsu pochodzi od ewaporatów cechsztyńskich, natomiast skład izotopu tlenu wody krystalizacyjnej jest silnie zróżnicowany.

Duże osiągnięcia odnotowano w interpretacji danych na temat zawartości bromu w utworach solnych. Ustalono, że udział substancji ilastej w skałach solnych może znacząco wpływać na zawyżenie zawartości bromu w próbce skały w porównaniu z oznaczeniami z wyseparowanego czystego halitu (Tomassi-Morawiec, Czapowski, 2006). Przedstawiono też charakterystyczne dla utworów solnych kolejnych cykli cechsztynu krzywe zmian zawartości bromu wraz z ich implikacjami dla środowiska depozycji (Tomassi-Morawiec i in., 2009) i możliwością wykorzystania do rozdzielenia serii solnych w obrębie wysadów np. w wysadzie Góra (Czapowski i in., 2009a, 2009b). Fluktuacje zmian zawartości bromu w utworach solnych cechsztynu wykorzystano do wykazania regionalnych i globalnych wahań poziomu morza i zmian klimatycznych (Czapowski, Tomassi-Morawiec, 2013) na terenie europejskiego basenu permskiego w powiązaniu z wynikami badań izotopowych (Garcia-Veigas i in., 2011).

Wyniki badań izotopowych (izotopy tlenu) autigenicznego kwarcu z występujących na niewielkim obszarze Polski soli kamiennych późnego triasu wykazały ich powstanie w środowisku kontynentalnym, w warunkach klimatu subtropikalnego o temperaturze sięgającej 46°C (Hałas i in., 2015).

Osobną grupę stanowią badania właściwości geomechanicznych cechsztyńskich soli kamiennych z różnych wystąpień złożowych (np. Flisiak, 2008; Grzybowski i in., 2008), mające duże zastosowanie praktyczne. Na szczególną uwagę zasługują skały zubrowe cechsztynu, jako potencjalnie korzystny górotwór do lokowania składowisk odpadów promieniotwórczych, stąd podjęte kompleksowe badania ich składu i parametrów fizyko-mechanicznych (Brzózka i in., 2005).

Praktyczne znaczenie dla konieczności rewizji zasobów siarczanowych soli potasowo-magnezowych w rejonie Zatoki Puckiej miało wykazanie wczesnodiagenetycznego charakteru mineralizacji polihalitowej w utworach cechsztyńskich w syneklizie perybałtyckiej (Peryt i in., 2005).

MIOCEN

Do chwili obecnej dla badeńskich soli występujących w polskiej części zapadliska przedkarpackiego wykonano wiele badań geochemicznych, w tym badania składu chemicznego pierwiastków głównych i śladowych w solach (Czapowski i in., 2001; Tobała 2000a, b, 2001a, b), zawartości bromu w halicie (Tobała, 2000c, 2004), składu chemicznego ciekłych inkluzji w halicie (Bukowski i in., 2000; Galamay i in., 2003; Cendón i in., 2004), izotopów tlenu i wodoru w ciekłych inkluzjach (Bukowski i in., 2001), składu izotopowego siarki i tlenu w anhydrytach z serii solonośnej (Cendón i in., 2004). Badania te wniosły nowe informacje na temat genezy i przebiegu depozycji osadów solnych w zapadlisku przedkarpackim. Krystalizacja soli w rejonie badań została zainicjowana w basenie morskim z wód o składzie chemicznym bliskim współczesnej wodzie oceanicznej. Podczas depozycji salinarnej dopływały wody meteoryczne (infiltracyjne i powierzchniowe), które następnie mieszały się z solankami basenowymi (Cendón i in., 2004). Dopływające do basenu wody powodowały częściowe rozpuszczanie oraz redepozycję soli z płytszych marginalnych części basenu solonośnego.

W celu zweryfikowania hipotezy o redepozycji halitu w warunkach basenu solonośnego przeprowadzono wiele eksperymentów, w których przetestowano różne warunki sedymentacji osadów mułowo-solnych (Bukowski i in., 2005, 2007). Wyniki badań eksperymentalnych były zgodne z cechami osadów badeńskiej serii solonośnej i potwierdziły mechaniczną erozję wcześniej osadzonych soli, a następnie ich redepozycję prądami trakcyjnymi, spływami podmorskimi i prądami zawieszinowymi.

Wody spływające z otaczającego lądu znosiły do basenu szczątki roślinne, które od kilkuset lat były rejestrowane w solach Wieliczki i Bochni (źródła pisane na temat spotykanych w Żupach Krakowskich uwęglonych szyszek, pni drzew i owoców są znane już od połowy XVII w.). Te gromadzone latami kolekcje paleobotaniczne doczekały się wielu opracowań, nie wykonywano jednak badań petrologicznych substancji węglistej. Przeprowadzone w ostatnich latach petrograficzne badania ciągłych i rozproszonych skupień węgla występujących w obrębie osadów solnych w złożu Wieliczki i Bochni (Wagner i in., 2008, 2010) wykazały występowanie różnych odmian petrograficznych węgla, w tym głównie ksyliłów oraz okruców węgla żelitowego. Wstępna interpretacja wskazuje, że materiał organiczny był wymywany z lądu, przenoszony strumieniami w postaci zolu organicznego i strącany w solance i/lub transportowany do basenu solonośnego w postaci litoklastów torfu i detrytusów roślinnego (Wagner i in., 2008, 2010).

TEKTONIKA UTWORÓW SOLNYCH

CECHSZTYN

Wykorzystując dane sejsmiczne skalibrowane głębokimi otworami wiertniczymi wykonano wiele prac badawczych poświęconych różnym aspektom tektoniki solnej w Polsce. Na Niżu badana była kwestia inicjacji i rozwoju struktur solnych (poduszek, wysadów), zbudowanych z cechsztyńskich ewaporatów, w trakcie ewolucji bruzdy śródpolskiej. Analizowana była kwestia powstawania struktur solnych na etapie ekstensji, w tym problem wpływu tektoniki solnej na otaczające triasowe i jurajskie systemy osadowe oraz kwestia związków – bądź ich braku – między strukturami solnymi a tektoniką w głębszym podłożu (np. Krzywiec, 2002, 2004) oraz kompresyjna reaktywacja struktur solnych wywołana późnokredowo-paleogeńską inwersją bruzdy śródpolskiej i jej wpływ na górnokredowe systemy depozycyjne (Krzywiec, 2006). Badania te przedstawiono w kilku syntetycznych publikacjach (Scheck-Wenderoth i in., 2008; Krzywiec, 2009, 2012; Pharaoh i in., 2010). Na podstawie nowych danych sejsmicznych oraz techniki bilansowania przekrojów geologicznych niedawno opracowano pierwszy ilościowy model mezozoicznej ewolucji północno-zachodniej części bruzdy śródpolskiej, w dużym stopniu

odnoszący się również do kwestii ewolucji struktur solnych w tym rejonie (Rowan, Krzywiec, 2014).

Wykonano analizy odształceń soli kamiennych na podstawie mezostruktur tektonicznych i sedymentacyjnych we wczesnych i późnych stadiach halokinetycznego rozwoju, w tym dla: wysadu Kłodawa (Burliga 2003; Schleder i in., 2007), pokładowego złoża soli na monoklinie przedsudeckiej (Burliga, 2007) oraz pokładowego złoża soli Mechelinki (Wilkoś i in., 2012). Ewolucję struktur solnych w świetle badań analogowych na przykładzie wysadu kłodawskiego, opisującą dopływ materiału do wysadu i jego przebudowę podczas inwersji basenu, przedstawiono w pracy Burligi i in. (2012a). Wskazywano na istotną rolę ewaporatów w deformacji wypełnienia basenowego podczas ekstensji i inwersji basenu sedymentacyjnego w świetle badań analogowych wraz z integracją z badaniami geofizycznymi (Burliga i in., 2012b). Zaktualizowano budowę wewnętrzną oraz wykonano reinterpretację historii ewolucji wysadu kłodawskiego (Burliga, 2014; Burliga i in., 2005). Przeprowadzono badania w zakresie określenia związków między strukturą soli kamiennych a ich właściwościami geomechanicznymi (Ślizowski i in., 2015), podkreślono też znaczącą rolę soli

potasowo-magnezowych w deformacjach tektonicznych kompleksów solnych (Burliga, 2013). Na zlecenie Państwowej Agencji Atomistyki zrealizowano szczegółowe badania geofizyczno-geologiczne w celu określenia ewentualnej neotektonicznej aktywności wysadu solnego Damasławek (Krzywiec i in., 2000), którego ewolucję w kenozoiku przedstawił Rasała (2004). Podobne prace prowadzono ponad wysadami solnymi Dębina (rów Kleszczowa), Lubień i Łanięta (Krzywiec, 2012).

Warto wspomnieć o opracowaniu monograficznym na temat ruchu górotworu w sąsiedztwie wysadów solnych, w którym przedstawiono geomechaniczne aspekty oddziaływania struktur wysadowych na ich najbliższe otoczenie (Kortas, 2008). Nowe techniki, np. interferometrię zastosowano do oceny stopnia oddziaływania wysadu solnego na powierzchnię terenu – przykładem są wyniki badań przeprowadzone na terenie wysadu inowrocławskiego (Piątkowska i in., 2012).

MIOCEN

Badania dotyczące tektoniki solnej – w tym wypadku tektoniki kompresyjnej – prowadzono z wykorzystaniem danych sejsmicznych również w brzeźnej strefie orogenu karpackiego, w strefie od Gdowa po Pilzno (Borkowska, Czerwińska, 2007; Bukowski i in., 2010; Krzywiec i in., 2004, 2012, 2014). Na podstawie wysokiej jakości danych

sejsmicznych 2D i 3D opracowano regionalny model brzeżu orogenu karpackiego. Określono wpływ tektoniki solnej na miocenijskie systemy osadowe brzeźnej, południowej strefy zapadliska przedkarpackiego oraz udokumentowano znaczny udział tektoniki klinowej oraz stref trójkątnych w kształtowaniu budowy geologicznej frontu Karpat. Opierając się na wynikach interpretacji danych sejsmicznych z innych części frontu karpackiego występowanie strefy trójkątnej z mocno zdeformowanymi i zdupleksowanymi utworami ewaporatowymi zaproponowano również dla rejonu Wieliczki (Krzywiec, Vergés, 2007).

Badania mezostruktur tektonicznych, zjawisk geodynamicznych i współczesnych ruchów górotworu w kopalni soli Bochnia i Wieliczka ukierunkowano na wyznaczenie stref stanowiących zagrożenie dla wyrobisk górniczych pod względem ich stateczności. Wykazały one, że w kopalni bocheńskiej wyrobiska poprzeczne do rozciągłości złoża zachowują się statecznie, natomiast wyrobiska równoległe do rozciągłości podlegają bardzo szybkiemu zaciskaniu. To zróżnicowanie tempa konwergencji wyrobisk powiązane z ruchami neotektonicznymi i wpływem stanu naprężeń wywołanego ruchami górotwórczymi Karpat (Toboła, Bezkorowajny, 2006). Istotne znaczenie ma także obecność mezostruktur tektonicznych (Cyran, Toboła, 2006, 2007) a zastosowana interpretacja wykształcenia inkluzji w solach kamiennych z Wieliczki i Bochni, jest wskaźnikiem ich przebudowy tektonicznej (Cyran, 2008).

HYDROGEOLOGIA FORMACJI SOLNYCH I ICH OTOCZENIA

CECHSZTYN

Warunki hydrogeologiczne panujące w rejonie pięciu wysadów solnych na obszarze Nizu (Wapno, Mogilno, Góra, Inowrocław i Damasławek) przedstawiono w monograficznym opracowaniu Górskiego i Rasały (2008). Z kolei sposób rejestracji i możliwość przewidywania wystąpień zagrożeń wodnych w Kopalni Soli Kłodawa zaprezentowano na podstawie cyfrowego modelu budowy geologicznej wysadu kłodawskiego (Chełmiński i in., 2008).

MIOCEN

Współczesne badania hydrogeologiczne prowadzone w Kopalni Soli Wieliczka oraz w jej otoczeniu dotyczyły kilku tematów. Przede wszystkim było to dalsze rozpoznanie warunków hydrogeologicznych wokół złoża (Brudnik i in., 2010). Rozpoznanie to warunkuje istnienie kopalni, zagrożonej kilkakrotnie niekontrolowanymi wdarzeniami wód słodkich od strony północnej (Zuber i in., 2000; Gonet i in., 2000). Pośrednio służyły temu celowi także badania hydrogeochemiczne i izotopowe głównych wycieków kopalnianych, mające na celu ustalenie powodów zmian składu chemicznego i genezy wód dopływających do kopalni (d'Obyrn, 2012; d'Obyrn, Postawa, 2013). Ważne prace

dotyczące bezpieczeństwa kopalni koncentrowały się na określeniu związków pomiędzy zagrożeniem wodnym, a zagrożeniem zawałowym oraz konwergencją wyrobisk (d'Obyrn, Brudnik, 2012; d'Obyrn, Przybyło, 2012; Maj, d'Obyrn, 2015). Kolejnym tematem był wpływ zakończonej eksploatacji otworowej soli ze złoża Barycz na wody podziemne i powierzchniowe (d'Obyrn, 2013; d'Obyrn i in., 2014). Przeprowadzone badania dwóch głównych wycieków kopalnianych pozwoliły na uznanie dopływających wód za wody lecznicze i wykorzystanie ich w działalności uzdrowiskowej kopalni (d'Obyrn, Postawa, 2014; d'Obyrn, Rajchel, 2014, 2015).

W Kopalni Soli Bochnia występują znacznie mniejsze zagrożenia wodne związane głównie z poziomami czwartorzędowymi oraz z formacją fliszową sąsiadującą ze złożem. Syntetyczne podsumowanie dotyczące ilości, wielkości oraz chemizmu wód dopływających do kopalni Bochnia przedstawiono w publikacji Bezkorowajnego i in. (2013).

Problemy związane z likwidacją eksploatacji otworowej na Podkarpaciu przedstawiono w sposób szczegółowy przede wszystkim w monografii d'Obyrna (2013), a wpływ podsadzania kawern poeksploatacyjnych na wody gruntowe i powierzchniowe w zlikwidowanej Otworowej Kopalni Soli Łęzkowice zaprezentowali w swoich publikacjach m.in. Bezkorowajny (2003) i Poborska-Młynarska (2009).

ZASOBY SOLI W POLSCE

Informacje o potencjale zasobowym soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych w Polsce, obejmującym zasoby udokumentowane i przewidywane, były w ostatnich latach przedstawiane w kilku publikacjach (np. Czapowski, Bukowski, 2009, 2010, 2012, 2013).

Obecnie udokumentowane do głębokości 1,4 km złoża soli kamiennej w Polsce lokują się głównie w obrębie utworów cechsztyńskich (15 złóż pokładowych i wysadowych, sześć złóż eksploatowanych, w tym jedno pokładowe i pięć wysadowych), podrzędnie zaś w utworach miocenu zapadliska przedkarpackiego (cztery złoża). Łączne (bilansowe i pozabilansowe) zasoby geologiczne złóż cechsztyńskich wynoszą ponad 107,5 mld t (tab. 1), z czego większość stanowią zasoby złóż udokumentowanych w wysadach solnych (ich zasoby bilansowe w ilości 54,9 mld t stanowią 64,3% krajowych zasobów soli kamiennej – Szufflicki

i in., 2016). Zasoby czterech udokumentowanych złóż soli mioceńskiej to jedynie ponad 690 mln t, w części tych złóż zakończono eksploatację (Wieliczka, Bochnia), a historyczne kopalnie funkcjonują obecnie jako obiekty muzealne i turystyczno-rekreacyjne.

Cała produkcja soli (ok. 3,47 mln t w 2015 r.) pochodzi ze złóż wieku cechsztyńskiego, głównie z wysadów solnych (Góra, Kłodawa i Mogilno). Wiele tych złóż, ze względu na specyficzne właściwości soli, jest wykorzystywanych jako operacyjne podziemne kawernowe magazyny gazu (złoża Mogilno II i Mechelinki) i paliw (złoża Góra).

Na obszarze Polski sole potasowo-magnezowe występują jedynie w obrębie utworów cechsztynu, budując wraz z solą kamienną dwa regionalne wydzielenia litostratigraficzne: starszą i młodszą sól potasową (lokalnie jest również wydzielana najstarsza sól potasowa). Zasoby geologiczne

Tabela 1

Udokumentowane zasoby soli kamiennej i potasowo-magnezowej w Polsce (wg Szufflickiego i in., 2016)

Resources of documented rock and potash salt deposits in Poland (after Szufflicki *et al.*, 2016)

Liczba udokumentowanych złóż/ złoża eksploatowane	Zasoby geologiczne [mln t]			Zasoby przemysłowe [mln t]
	bilansowe	pozabilansowe	suma	
sól kamienna				
19/6	85 378,49	22 122,99	107 501,48	1 735,79
sole potasowo-magnezowe				
5/0	669,84	20,32	690,16	2,74

Tabela 2

Zestawienie zasobów przewidywanych soli kamiennej i potasowo-magnezowej w Polsce (wg Czapowskiego i in., 2015)

Predicted resources of rock and potash salts in Poland (after Czapowski *et al.*, 2015)

Wiek	Kategoria zasobów przewidywanych	Zasoby [mln t]	Powierzchnia obszarów [km ²]
Sole kamienne cechsztynu	prognostyczne	944 848,74	2 812,76
	perspektywiczne	3 037 401,54	28 647,41
	przewidywane	69 812,22	116,74
	suma	4 052 062,50	31 576,91
Sole kamienne miocenu	prognostyczne	6 626,60	135,39
	perspektywiczne	270,69	1,75
	suma	6 897,29	137,14
Suma		4 058 959,79	31 714,05
Sole potasowo-magnezowe cechsztynu	prognostyczne	821,50	110,34
	perspektywiczne	2 816,60	355,10
Suma		3 638,10	465,40

udokumentowanych pięciu złóż wynoszą ponad 690 mln t (tab. 1), w tym zasoby bilansowe to ok. 670 mln t. Większość złóż (cztery) to udokumentowane do głębokości 1,2 km wystąpienia (gniazda i przerosty) soli typu siarczanowego (polihalit), skoncentrowane w rejonie Zatoki Puckiej (Czapowski i in., 2008). Niewielkie ilości soli potasowo-magnezowych typu chlorkowego (karnalit, sylwin) rozpoznano w wysadzie solnym Kłodawa (Szufflicki i in., 2016). Złoża te nie są obecnie eksploatowane, ale w ostatnich trzech latach przyznano dwie koncesje na poszukiwanie i rozpoznanie złóż polihalitu w rejonie Zatoki Puckiej.

Po 2000 r. podjęto próby oszacowania zasobów perspektywicznych wybranych kopalin w Polsce, w tym soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych (Wołkowicz i in., 2011; Czapowski i in., 2015). Dokładniejszej informacji o tych zasobach dostarczyły szacunki opierające się na okonturowaniu perspektywicznych wystąpień danej kopaliny na mapach w skali 1 : 100 000 (Mikulski, 2015). W przypadku soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych szacunki te przeprowadzono na 57 arkuszach map do głębokości 2 km

występowania spągu serii solnej, rozróżniając zasoby prognostyczne (do głębokości 1,2–1,5 km) i perspektywiczne (interwał głębokości od 1,2–1,5 km do 2 km – Czapowski i in., 2015). Łączne zasoby przewidywane (prognostyczne i perspektywiczne) soli kamiennej wieku cechsztyńskiego i mioceńskiego, skupione w wystąpieniach typu wysadowego i pokładowego na obszarze Polski, oszacowano na ok. 4 bln t, ich powierzchnia zaś wynosi ponad 31 tys. km² (tab. 2). Są to prawie w całości sole wieku cechsztyńskiego (99,8%), a zasoby soli mioceńskich stanowią jedynie ułamek procenta (6,9 mld t, z powierzchnią ok. 137 km²).

Zasoby przewidywane soli potasowo-magnezowych (rozumiane jako ilość skały potasonośnej, bez określenia na tym etapie rozpoznania udziału procentowego K₂O) na obszarze Polski oszacowane w wystąpieniach pokładowych wynoszą ok. 3,6 mld t, całkowita zaś powierzchnia ich wystąpień jest oceniana na ok. 465 km² (tab. 2). Są to głównie zasoby perspektywiczne (ok. 2,8 mld t, powierzchnia ok. 355 km²) skupione głównie na obszarze Polski południowo-zachodniej.

ZAGOSPODAROWANIE UTWORÓW SOLNYCH W POLSCE – TERAŻNIEJSZOŚĆ I PRZYSZŁOŚĆ

W XXI w. w Polsce, podobnie jak w innych krajach, wydobywanie solanki zeszło na dalszy plan, a priorytetem stało się wykorzystywanie kawern solnych jako magazynów dla węglowodorów (gazu ziemnego, ropy naftowej i paliw) (Jasiński, 2004; Kunstman i in., 2002, 2009; Kłeczek i in., 2005; Laskowska i in., 2009; Pieńkowski 2009; Stopa i in., 2008). Coraz powszechniejszy staje się pogląd, że przestrzeń po wybranej soli może być cenniejsza od samej kopaliny. O fakcie tym świadczy chociażby: rozbudowa podziemnego magazynu gazu Mogilno (Gaska, 2003), budowa następnego podziemnego kawernowego magazynu gazu w Kosakowie (Laskowska i in., 2009), czy przekształcenie kopalni otworowej w podziemny magazyn paliw i ropy naftowej w Górze (Jasiński, 2003; Jasiński i in., 2013; Maciejewski, 2008). Przykład magazynu w Kosakowie pokazuje, że solanka nie musi być wykorzystywana przemysłowo i że można ją zrzucić do Bałtyku w bezpieczny dla środowiska sposób (Laskowska, Gaska, 2010).

Również w ostatnich latach w Polsce trwają wstępne prace nad możliwością wykorzystania złóż soli do głębokiego składowania odpadów promieniotwórczych (zob. Kłeczek, Zeljaś, 2004; Ślizowski, Lankof, 2009), czy też wykorzystania kopalni podziemnej w złożu wysadowym do składowania odpadów i substancji szkodliwych (Kunstman i in., 2007; Poborska-Młynarska, Korzeniowski, 2016). Rozpatrywano także możliwość ulokowania detektora do badań astrofizycznych w pokładzie soli kamiennej kopalni Polkowice-Sieroszowice na Dolnym Śląsku (Ślizowski i in., 2010). Warto również nadmienić o roli wysadów jako geotermalnego źródła ciepła dla celów energetycznych (Bujakowski i in., 2003).

Kopalnie soli po zakończeniu eksploatacji mają ogromny potencjał wykorzystania ich w celach turystycznych, rekreacyjnych czy też sanatoryjnych. Wzorcowymi przykładami są dwie historyczne kopalnie soli na Przedkarpaciu – Wieliczka oraz Bochnia. Obydwie kopalnie wpisano na listę Światowego Dziedzictwa Kulturowego i Przyrodniczego UNESCO: Wieliczka w 1978 r. (była to pierwsza lista zawierająca 12 obiektów m.in. Park Yellowstone, wyspy Galapagos, Stare Miasto w Krakowie) oraz Bochnia wpisana na listę UNESCO w 2013 r. Kopalnie te stale rozwijają trasę turystyczną, modyfikują zaplecze gastronomiczne, sanatoryjne, organizują szereg imprez kulturalnych, przy jednoczesnym zabezpieczaniu i likwidowaniu wyrobisk stanowiących potencjalne zagrożenie dla części zabytkowej kopalni. Ich walory geoturystyczne doczekały się wielu publikacji (m.in. Brudnik i in., 2001; Garlicki, 2008; Wiewiórka i in., 2009a; d’Obyrn i in., 2010; Garlicki, 2013), w tym szczegółowo udokumentowano stanowiska geologiczne i geoturystyczne w kopalni w Bochni (m.in. Bezkorowajny i in., 2007; Wiewiórka i in., 2007, 2009b; Gonera i in., 2011) oraz w Wieliczce (m.in. Wiewiórka i in., 2008; Przybyło, 2009; d’Obryn i in., 2010). Objęty ochroną rezerwat Groty Kryształowe w kopalni w Wieliczce był przedmiotem szczegółowych badań, których wyniki zostały przedstawione w zbiorowej monografii (Alexandrowicz i in., 2000). Ponadto rejestrowano zjawiska i procesy wtórnej mineralizacji (Pawlikowski, 2009; Sawłowicz i in., 2014) oraz analizowano geochemicznie produkty korozji żelaza w kopalni wielickiej (Malinowski i in., 2010). Należy również wspomnieć, że w Kopalni Soli Kłodawa od kilku już lat funkcjonuje trasa geoturystyczna z licznymi stanowiskami geologicznymi (Czapowski i in., 2005; Sadowski i in., 2007).

PODSUMOWANIE

Powyższe zestawienia dowodzą ogromnego potencjału zasobowego Polski w przypadku soli, a szczególnie soli kamiennych. Możliwe jest różnorodne wykorzystanie tych zasobów, od prostego wydobycia, przez budowę w ich obrębie magazynów, gromadzących operacyjne rezerwy gazu ziemnego i paliw (np. Ślizowski i in., 2004; Maciejewski, 2008; Ślizowski, Urbańczyk, 2011; Czapowski, Tomassi-Morawiec, 2012; Kaliski i in., 2013) bądź (opcjonalnie) wodoru czy powietrza dla niekonwencjonalnych instalacji energetycznych (np. Kaliski, Sikora, 2013; Kunstman, Urbańczyk, 2013). Możliwe jest wykorzystanie kompleksów solnych jako miejsca ulokowania podziemnych składowisk uciążliwych i niebezpiecznych odpadów (Poborska-Młynarska, 2000, 2008; Kunstman i in., 2007; Lankof i in., 2013). Tak więc wskazanie wystąpień tych soli i rozpoznanie ich budowy geologicznej jest kluczowe dla przyszłych inwestorów, planujących podjęcie decyzji o określonej formie ich zagospodarowania (Czapowski, Bukowski, 2016). Stopień rozpoznania formacji solonośnych na niektórych obszarach nie jest jeszcze wystarczający. Stosunkowo najslabiej są rozpoznane utwory solne wieku triasowego i wymagają one kompleksowych badań. Z kolei nawet wydawałoby się w najlepiej rozpoznanej, mioceńskiej formacji solonośnej istnieją obszary rozpoznane jedynie wstępnie np. w strefie przykarpackiej na wschód od Rzeszowa, czy też pod nasunięciem karpackim. Niemniej dzięki rozwijającym się metodom geofizycznym, a w szczególności sejsmice 2D i 3D, możliwe jest lepsze rozpoznanie tych obszarów w najbliższych latach.

W związku z rosnącym zapotrzebowaniem rynku surowcowego istotnym problemem stało się określenie wielkości rzeczywistych zasobów soli potasowo-magnezowych, szczególnie polihalitów. Dotychczas udokumentowane złoża tej kopaliny w rejonie Zatoki Puckiej wymagają przeprowadzenia dokładniejszego rozpoznania geologicznego, ponownego określenia zasobów kopaliny i oceny opłacalności jej wydobycia (np. Czapowski i in., 2008). Skala mineralizacji polihalitowej oraz forma tych złóż jest od lat przedmiotem dyskusji (np. Peryt i in., 2005). Należy też przeprowadzić dokładne rozpoznanie geologiczne występowania i określenie zasobów soli potasowo-magnezowych, kryjących się w utworach cechsztyńskich, w wysadach soli oraz na obszarze przedsudeckim (np. Czapowski i in., 2012, z literaturą).

Pomimo tak znaczących dokonań nadal celowe jest prowadzenie dalszych badań nad określeniem mechanizmów

i warunków depozycji powiązanych ze sobą utworów solnych i siarczanowych, w kontekście zmiennych warunków batymetrycznych i klimatycznych (np. globalne i regionalne wahania poziomu morza i zmiany klimatyczne) oraz wpływu czynników tektonicznych na ich akumulację (subsydencja). O konieczności prowadzenia dalszych badań składu chemicznego, mineralnego oraz własności fizyko-mechanicznych soli nie należy zapominać. Dane te są absolutnie niezbędne zarówno w interpretacji warunków powstania utworów solnych, jak i przy określeniu możliwości zagospodarowania wystąpień solnych. Celowe jest znaczne poszerzenie badań nad inkluzjami i badań izotopowych, np. izotopów chloru, do odtworzenia genezy i historii serii solnych oraz określenia warunków środowisko-klimatycznych ich powstania.

Należy nadal prowadzić badania nad warunkami hydrogeologicznymi w obrębie i otoczeniu wystąpień skał solnych, gdyż nieprzewidywalna migracja wód (zewnętrznych i inkluzyjnych, poza nasyconą solanką) w górotwór to ogromne zagrożenie dla eksploatacji. Dotyczy to również obecności gazów w górotworze.

W maksymalnym stopniu warto wykorzystać dane wysokorozdzielczych badań geofizycznych (np. sejsmiki, geofizyki otworowej), uzyskane podczas rozpoznania budowy geologicznej wybranych obszarów kraju i określonych formacji skalnych, do interpretacji budowy i historii ewolucji kompleksów i struktur solnych. Również nowoczesne metody rejestracji deformacji powierzchni terenu np. interferometria mogą dostarczyć cennych informacji o mobilności tych struktur wskutek regionalnych naprężeń tektonicznych oraz ich górniczej eksploatacji.

W XXI w. posługiwanie się klasycznymi, analogowymi modelami budowy kompleksów solnych jest anachronizmem. Absolutnie konieczne jest konstruowanie cyfrowych modeli 3D, rejestrujących i ilustrujących wszystkie cechy budowy i parametry geochemiczno-fizyczne wystąpień struktur solnych. Modele te są niezbędne w przyszłym zagospodarowaniu i w obecnej eksploatacji złóż solnych, gdyż odnotowują sukcesywny postęp rozpoznania geologicznego i wskazują obszary o optymalnych parametrach surowcowych i o najmniejszej skali zagrożenia dla eksploatacji.

Opracowanie wykonano ze środków przeznaczonych na badania statutowe AGH nr 11.11.140.320.

LITERATURA

- ALEXANDROWICZ Z. (red.), 2000 — Groty Kryształowe w Kopalni Soli Wieliczka. *Stud. Naturae*, **46**.
- BANASZAK A., GARLICKI A., MARKIEWICZ A., 2007 — Budowa geologiczna złoża najstarszej soli kamiennej Kazimierzów w OG Sieroszowice I (kopalnia Polkowice-Sieroszowice). *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **23**, z. spec. 1: 9–20.
- BICCHI E., FERRERO E., GONERA M., 2003 — Paleoclimatic interpretation based on Middle Miocene planktonic Foraminifera: the Silesia Basin (Paratethys) and Monferrato

- (Tethys) records. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **196**, 3/4: 265–303.
- BEZKOROWAJNY A., 2003 — Wpływ podszadania żużłami po-hutniczymi wyrobisk górniczych OKS „Łęzkowice” na wody gruntowe i powierzchniowe. *Tech. Poszuk. Geol.*, **5**, 42: 75–79.
- BEZKOROWAJNY A., CYRAN K., TOBOŁA T., 2007 — Wpływ procesów tektonicznych na walory przyrodnicze i edukacyjne zejścia Lichtenfels w kopalni bocheńskiej. *Stud. Mat. Dziej. Żup Soln. Pol.*, **25**: 259–275.
- BEZKOROWAJNY A., CZOP M., STOCHEL B., WORSZA-KOZAK B., 2013 — Hydrogeochemistry of the Mine Water from „Bochnia” Salt Mine (Kraków Region, South Poland). *W: International Mine Water Association 2013 Annual Conference. Reliable Mine Water Technology* (red. A. Brown i in.). Colorado, 6–9.08.2013 r.: 257–263. Publication Printers, Denver.
- BOROWSKA L., CZERWIŃSKA B., 2007 — Przestrzenny model budowy geologicznej na podstawie zdjęcia sejsmicznego 3D w rejonie Łękawicy koło Tarnowa. *W: Rozpoznanie geotermicznej anomalii w strefie nasunięcia karpackiego w rejonie Tarnów-Łękawica* (red. W. Bujakowski): 78–85. Wydaw. IGSMiE PAN, Kraków.
- BRUDNIK K., BUKOWSKI K., PRZYBYŁO J., STECKA J., 2001 — Kopalnia soli w Wieliczce. *W: Przewodnik LXXII zjazdu PTG* (red. K. Bąk i in.): 213–230. Państw. Inst. Geol., Kraków.
- BRUDNIK K., CZOP M., MOTYKA J., D’OBYRN K., ROGOŹ M., WITCZAK S., 2010 — The complex hydrogeology of the unique Wieliczka salt mine. *Prz. Geol.*, **58**, 9/1: 787–796.
- BRZÓSKA G., DUDAŁA J., GILEWICZ-WOLTER J., JANECZEK J., KASPRZYK W., LANKOF L., ŁUKASZEWSKI P., OCHOŃSKI A., PAWLIKOWSKI M., PINIŃSKA J., PRZEWŁOCKI K., ŚLIZOWSKI J., ŚLIZOWSKI K., 2005 — Badania laboratoryjne zubrów (iłowców solnych) dla oceny możliwości składowania odpadów promieniotwórczych w polskich wysadach solnych. Wydaw. IGSMiE PAN, Kraków.
- BUJAKOWSKI W., CZERWIŃSKI T., GARLICKI A., JARZYNA J., MULARZ S., TARKOWSKI R., 2003 — Termiczna charakterystyka górotworu w rejonie wysadów solnych. Wydaw. IGSMiE PAN, Kraków.
- BUKOWSKI K., 2011 — Badeńska sedimentacja salinarna na obszarze między Rybnikiem a Dębicą w świetle badań geochemicznych, izotopowych i radiometrycznych. *Rozprawy, Monografie*, **236**.
- BUKOWSKI K., GALAMAY A.R., GORALSKI M., 2000 — Inclusion brine chemistry of the Badenian salt from Wieliczka. *J. Geochem. Explor.*, **69/70**: 87–90.
- BUKOWSKI K., DULIŃSKI M., RÓŻAŃSKI K., 2001 — Origin of Badenian salts from Wieliczka as indicated by stable isotope composition of fluid inclusion. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **396**: 27–29.
- BUKOWSKI K., MASTEJ W., KĘPIŃSKI J., 2005 — Badania laboratoryjne nad sedimentacją osadów mułowo-solnych w zależności od warunków przepływu i charakteru materiału sedimentacyjnego. *Tech. Poszuk. Geol.*, **44**, 234–235: 69–76.
- BUKOWSKI K., MASTEJ W., KĘPIŃSKI J., 2007 — Badania laboratoryjne nad sedimentacją redeponowanych osadów mułowo-solnych na stożku podmorskim. *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **23**, z. spec. 1: 175–182.
- BUKOWSKI K., DE LEEUW A., GONERA M., 2014 — Isotopic events preceding the Badenian salinity crisis in the Central Paratethys, Middle Miocene, Poland. *W: STRATI 2013* (red. R. Rocha i in.). Lizbona, 1–7.07.2013 r.: 837–839. Springer Geology.
- BUKOWSKI K., DE LEEUW A., GONERA M., KUIPER K.F., KRZYWIEC P., PERYT D., 2010 — Badenian tuffite levels within the Carpathian orogenic front (Gdów-Bochnia area, S Poland), radio-isotopic dating and stratigraphic position. *Geol. Quart.*, **54**, 4: 449–464.
- BURLIGA S., 2003 — Zróżnicowanie struktury wysadu solnego Kłodawy w świetle mezostrukturalnej analizy odkształcenia skał. *Tech. Poszuk. Geol.*, **5**: 11–17.
- BURLIGA S., 2007 — Internal structure of subhorizontal bedded rock salt formation in the area of Sieroszewice meso- and microstructural investigations. *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **23**, z. spec. 1: 51–64.
- BURLIGA S., 2013 — Wpływ soli potasowo-magnezowych na deformację serii solnej. *W: XVIII Międzynarodowe sympozjum solne „Quo Vadis Sal”*. Sól a energetyka: Od Gazu do Atomu. Sopot, 10–11.10.2013 r.: 76–78. *Prz. Solny (Salt Rev.)*, *Rocz. PSGS*, Kraków.
- BURLIGA S., 2014 — Heterogeneity of folding in Zechstein (Upper Permian) salt formations in the Kłodawa Salt Structure, central Poland. *Geol. Quart.*, **58**, 3: 565–576.
- BURLIGA S., CZECHOWSKI F., 2010 — Anatomy of hydrocarbon-bearing zones, hydrocarbon provenance and their contribution to brittle fracturing of rock salt in the Kłodawa Salt Structure (central Poland). *W: Solution Mining Research Institute Spring 2010 Technical Conference*: 125–134. Grand Junction, Colorado, USA.
- BURLIGA S., JANIÓW S., SADOWSKI A., 2005 — Perspektywy eksploatacji soli w Kopalni Soli „Kłodawa” w aspekcie aktualnego stanu wiedzy o budowie tektonicznej wysadu Kłodawy. *Tech. Poszuk. Geol.*, **44**, 4/5: 17–25.
- BURLIGA S., CZECHOWSKI F., HOJNIAK M., 2008 — Zjawiska gazodynamiczne w wysadzie solnym Kłodawy jako narzędzie stratygraficzne cechsztynu. *Gosp. Sur. Miner.*, **24**, 3/2: 69–81.
- BURLIGA S., KOYI H.A., CHEMIA Z., 2012a — Analogue and numerical modeling of salt supply to a diapiric structure rising above an active basement fault. *W: Salt Tectonics, Sediments and Prospectivity* (red. G.I. Alsop i in.). *Geol. Soc. Spec. Publ., London*, **363**: 395–408.
- BURLIGA S., KOYI H.A., KRZYWIEC P., 2012b — Modeling cover deformation and decoupling during inversion, using the Mid-Polish Trough as a case study. *J. Struct. Geol.*, **42**: 62–73.
- CENDÓN D.I., PERYT T.M., AYORA C., PUEYO J.J., TABERNER C., 2004 — The importance of recycling processes in the Middle Miocene Badenian evaporite basin (Carpathian foredeep): palaeoenvironmental implications. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **212**, 1/2: 141–158.
- CHEŁMIŃSKI J., TOMASZCZYK M., SŁODKOWSKI M., CZAPOWSKI G., MISIEK G., 2008 — Informatyczny system rejestracji zagrożeń wodnych w Kopalni Soli Kłodawa w Kłodawskim Wysadzie Solnym (Centralna Polska). *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **34**, 3/2: 185–195.
- CZAPOWSKI G., 2007 — Ocena głębokości zbiornika solnego i czasu depozycji chlorków sodu na przykładzie utworów najstarszej soli kamiennej (Na1) cyklu PZ1 cechsztynu w rejonie Zatoki Puckiej. *Prz. Geol.*, **55**, 7: 573–581.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2009 — Złoża soli w Polsce – stan aktualny i perspektywy zagospodarowania. *Prz. Geol.*, **57**, 9: 798–811.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2010 — Geology and resources of salt deposits in Poland: the state of the art. *Geol. Quart.*, **54**, 4: 509–518.

- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2012 — Salt resources in Poland at the beginning of XXI century. *Geol. Geoph. & Environ. (Prz. Solny)*, **38**, 2: 189–208.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2013 — Potencjał zasobowy soli kamiennej i soli potasowych w Polsce a perspektywy jego wykorzystania. *Gór. Odkryw.*, **54**, 2: 74–84.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2016 — Mapy wystąpień zasobów perspektywicznych soli w Polsce jako narzędzie w projektowaniu przyszłego zagospodarowania złóż kopalni. *Prz. Solny (Salt Rev.)*, *Rocz. PSGS*, **11** [w druku].
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., 2012 — Stan rozpoznania geologicznego struktur solnych regionu szczecińskiego pod kątem oceny możliwości budowy w ich obrębie kawernowych magazynów i składowisk. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **448**, 1: 145–156.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., 2013 — Paleogeographic and palaeoclimate factors of salinity fluctuations in the eastern part of the Late Permian (Zechstein) European Basin: case study from the salt basin in Poland. *Geol. Soc. Spec. Publ., London*, **376**: 457–474.
- CZAPOWSKI G., TOMASZCZYK M., 2014 — Baseny ewaporatowe cykli PZ1, PZ2 i PZ3 cechsztynu (górnym perm) w Polsce – studium miazszościowe. *Prz. Solny (Salt Rev.)*, *Rocz. PSGS*, **10**: 49–64.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., BUKOWSKI K., 2001 — Charakterystyka geochemiczna różnowiekowych facji solnych z obszaru Polski. *Tech. Poszuk. Geol.*, **40**, 1: 19–42.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., BUKOWSKI K., 2004 — Analiza facjalna soli kamiennych jako metoda oceny możliwości zagospodarowania formacji solnych. *Tech. Poszuk. Geol.*, **225/226**, 1/2: 43–58.
- CZAPOWSKI G., SADOWSKI A., MISIEK G., KOLONKO P., 2005 — Możliwości niekonwencjonalnego wykorzystania waloarów przyrodniczych i technicznych kopalni soli Kłodawa. *Tech. Poszuk. Geol.*, **234/235**, 4/5: 35–47.
- CZAPOWSKI G., CHEŁMIŃSKI J., TOMASZCZYK M., TOMASSI-MORAWIEC H., 2007 — Metodyka modelowania przestrzennego budowy geologicznej osadowych złóż pokładowych na przykładzie cechsztyńskiego złoża soli kamiennej „Mechelinki” nad Zatoką Pucką. *Prz. Geol.*, **55**, 8: 681–689.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., CHEŁMIŃSKI J., TOMASZCZYK M., 2008 — Stopień rozpoznania i perspektywy zagospodarowania cechsztyńskich złóż soli w rejonie Zatoki Gdańskiej. *Gór. Odkryw.*, **49/2**, 2/3: 47–55.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., TADYCH J., GRZYBOWSKI Ł., SZTYRAK T., 2009a — Geochemia bromu i wykształcenie utworów solnych cechsztynu w wybranych otworach wiertniczych w wysadzie solnym Góra koło Inowrocławia. *Geologia*, **35**, 3: 287–305.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., TADYCH J., GRZYBOWSKI Ł., SZTYRAK T., 2009b — Wykształcenie i tektonika utworów solnych cechsztynu w wysadzie solnym Góra koło Inowrocławia w świetle wyników kompleksowych badań geochemiczno-litologicznych w wybranych otworach wiertniczych. *Prz. Geol.*, **57**, 6: 494–503.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., TOBOŁA T., TADYCH J., 2012 — Geology, geochemistry and petrological characteristics of potash salt units from PZ2 and PZ3 Zechstein (Late Permian) cycles in Poland. *Geol. Geoph. & Environ. (Prz. Solny)*, **38**, 2: 153–188.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., GAŚIEWICZ A., SADŁOWSKA K., 2015 — Obszary perspektywiczne wystąpień i zasoby przewidywane surowców chemicznych Polski na mapach w skali 1 : 200 000 – sól kamienna, sole potasowo-magnezowe i siarka. *Prz. Geol.*, **63**, 9: 561–571.
- CZECHOWSKI F., BURLIGA S., HOJNIK M., 2011 — Geochemia węglowodorów z pierwszego udokumentowanego wystąpienia dolomitu głównego (Ca2) w wysadzie solnym Kłodawy. *Geologia*, **37**, 2: 231–144.
- CYRAN K., 2008 — Inkluzje w solach kamiennych Bochni i Wieliczki jako dowód deformacji tektonicznych? *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **34**, 3/2: 241–250.
- CYRAN K., TOBOŁA T., 2006 — Badania mezostruktur tektonicznych w Kopalni Soli „Bochnia”. *Geologia*, **32**, 2: 85–98.
- CYRAN K., TOBOŁA T., 2007 — Rola badań tektoniki dla zabezpieczenia i przyszłego rozwoju kopalń soli Bochnia i Wieliczka. *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **23**, 1: 143–156.
- D’OBYRN K., 2012 — The analysis of destructive water infiltration into the Wieliczka Salt Mine – a unique UNESCO site. *Geol. Quart.*, **56**, 1: 85–94.
- D’OBYRN K., 2013 — Analiza wpływu otworowej eksploatacji pokładowego złoża soli Barycz na środowisko naturalne. *Rozprawy, Monografie*, **284**.
- D’OBYRN K., BRUDNIK K., 2012 — Ograniczenie zagrożenia wodnego poprzez stabilizację górotworu w centralnym rejonie Kopalni „Wieliczka”. *Górnictwo i Geologia*, **7**, 4: 59–69.
- D’OBYRN K., POSTAWA A., 2013 — Selected hydrochemical ratios of waters from inflows at level VI in „Wieliczka” Salt Mine. *Geol. Geoph. & Environ.*, **39**, 3: 163–174.
- D’OBYRN K., POSTAWA A., 2014 — Assessment of the qualitative and quantitative stability of „Wieliczka” Salt Mine (Poland) brines and of their possible use for medicinal purposes. *Geol. Quart.*, **58**, 3: 459–464.
- D’OBYRN K., PRZYBYŁO J., 2012 — Problemy hydrogeologiczne i geotechniczne związane z zawodnieniem zabytkowych szybów kopalni soli Wieliczka na przykładzie szybu Górsko. *Geol. Geoph. & Environ.*, **38**, 1: 23–34.
- D’OBYRN K., PRZYBYŁO J., WIEWIÓRKA W., 2010 — Budowa geologiczna i techniki eksploatacji złoża w wyrobiskach nowej trasy specjalistycznej w Kopalni Soli „Wieliczka”. *Geologia*, **36**, 3: 287–311.
- D’OBYRN K., RAJCHEL L., 2014 — Balneologiczne walory Kopalni Soli „Wieliczka”. *Acta Balneol.*, **56**, 4, 138: 220–223.
- D’OBYRN K., RAJCHEL L., 2015 — Balneoterapeutyczne wykorzystanie solanek w Uzdrowisku Kopalnia Soli „Wieliczka”. *Prz. Geol.*, **63**, 10/2: 981–984.
- D’OBYRN K., PRZYBYŁO J., WIEWIÓRKA W., 2010 — Budowa geologiczna i techniki eksploatacji złoża w wyrobiskach nowej trasy specjalistycznej w Kopalni Soli „Wieliczka”. *Geologia*, **36**, 3: 287–311.
- D’OBYRN K., KŁOJZY-KACZMARCZYK B., MAZUREK J., 2014 — Analysis of the impact of a liquidated salt mine and an municipal landfill on the quality of the Malinówka stream water in the former Barycz mining area. *Gosp. Sur. Miner.*, **30**, 4: 113–132.
- DUDEK K., BUKOWSKI K., WIEWIÓRKA J., 2004 — Datowanie radiometryczne badeńskich osadów piroklastycznych z okolic Wieliczki i Bochni. *W: VIII Ogólnopolska Sesja Naukowa „Datowanie minerałów i skał”* (red. M. Michalik i in.). Kraków, 18–19.11.2004 r.: 19–26.
- DYJACZYŃSKI K., PERYT T.M., 2014 — Controls on basal Zechstein (Wuchiapingian) evaporite deposition in SW Poland. *Geol. Quart.*, **58**, 3: 485–502.
- FLISIAK D., 2008 — Laboratoryjne badania właściwości geo-mechanicznych soli kamiennej z wybranych złóż cechsztyńskich. *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **34**, 3/2: 121–140.

- GALAMAY A.R., BUKOWSKI K., CZAPOWSKI G., 2003 — Chemical composition of brine inclusions in halite from the Upper Tertiary (Miocene) evaporite basin (Poland). *J. Geochem. Explor.*, **77/78**: 509–511.
- GARCIA-VEIGAS J., CENDÓN D.I., PUEYO J.J., PERYT T.M., 2011 — Zechstein saline brines in Poland, evidence of overturned anoxic ocean during the Late Permian mass extinction event. *Chem. Geol.*, **290**: 189–201.
- GARLICKI A., 2008 — Salt Mines at Bochnia and Wieliczka. *Prz. Geol.*, **56**, 8/1: 663–669.
- GARLICKI A., 2013 — Kopalnie soli na świecie (Salt Mines in the World). *W: Skarb. Kopalnia Soli "Wieliczka"* (The Wieliczka Salt Mine) (red. A. Nowakowski): 15–34. Universitas, Kraków.
- GARLICKI A., KJEWski P., SZYBIST A., JAMRÓZ A., MARKIEWICZ A., PIESTRZYŃSKI A. (red.), 2007 — Sól kamienna na obszarze przedsudeckim (Rock Salt in Foresudetic Area). *W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A.*: 269–277. KGHM Polska Miedź S.A., Lubin.
- GĄSKA K., 2003 — Kawernowy Podziemny Magazyn Gazu „Mogilno”. *Tech. Poszuk. Geol.*, **42**, 223: 33–35.
- GLUSZYŃSKI A., ALEKSANDROWSKI P., 2014 — Along strike changing structure of the Carpathian thrust front east of Tarnów (SE Poland) as intersection phenomenon related to thrust-floor palaeotopography. *Geol. Sudet.*, **42**: 19–20.
- GLUSZYŃSKI A., ALEKSANDROWSKI P., 2016 — Deep palaeovalley in the floor of Polish Carpathian Foredeep basin near Pilzno and its control on facies of Badenian (Middle Miocene) evaporates. *Geol. Quart.*, **60**, 2: 493–516.
- GONERA M., 2001 — Otwornice i paleośrodowisko formacji Badenianu, miocen środkowy na obszarze Górnego Śląska. *Stud. Naturae*, **48**: 1–211.
- GONERA M., BUKOWSKI K., 2012 — Isotopic events in the Early/Middle Badenian (Miocene) of the Upper Silesia Basin (Central Paratethys). *Geol. Quart.*, **56**, 3: 561–568.
- GONERA M., WIEWIÓRKA J., CHARKOT J., BUKOWSKI K., MIKULSKI D., DUDEK K., 2011 — Geochrona konserwatorska profilu wzorcowego warstw chodenickich (miocen zapadliska przedkarpackiego). *Prz. Geol.*, **59**, 10: 671–699.
- GONERA M., BUKOWSKI K., D’OBYRN K., WIEWIÓRKA J., 2012 — Foraminifera in slump deposits of the Badenian (Middle Miocene) Green Stratified Salt in Wieliczka, Poland. *Geol. Quart.*, **56**, 4: 869–880.
- GONERA M., WIEWIÓRKA J., D’OBYRN K., BUKOWSKI K., 2014 — Wielician (Middle Badenian) foraminifers from the stratotype area – Wieliczka Salt Mine, Poland (Paratethys, Middle Miocene). *Geol. Quart.*, **58**, 3: 427–438.
- GONET A., STRYCZEK S., GARLICKI A., BRYLICKI W., 2000 — Protection of Salt Mines against Water Inflow Threat on the Example of Wieliczka Salt Mine. *W: 8th World Salt Symposium. The Hague, Netherlands, 7–11.05.2000 r.*: 363–368. Elsevier.
- GÓRSKI J., RASAŁA M., 2008 — Hydrogeologia wybranych wysadów solnych regionu kujawskiego – aspekty poznawcze i utytarne. *Geologos, Monographiae*, **13**, 5: 1–152.
- GRZYBOWSKI Ł., WILKOSZ P., FLISIAK D., 2008 — Mechanical properties of rock salt from Mogilno salt dome. *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **34**, 3/2: 141–157.
- HAŁAS S., BOJAR A.-V., PERYT T.M., 2015 — Oxygen isotopes in authigenic quartz from massive salt deposits. *Chem. Geol.*, **402**, 1: 1–5.
- JAWORSKA J., 2004 — Automorficzne kryształy kwarcu z wysadu solnego Wapna. *Prz. Geol.*, **52**, 1: 64–68.
- JAWORSKA J., 2010 — Anoxygen and sulfur isotopic study of gypsum from the Wapno Salt Dome. *Geol. Quart.*, **54**, 1: 25–32.
- JAWORSKA J., 2012 — Crystallization, Alternation and Recrystallization of Sulphates. *W: Advances in Crystallization Processes* (red. Y. Mastai): 465–490. InTech.
- JAWORSKA J., NOWAK M., 2013 — Anhydrites from gypsum cap-rock of Zechstein salt diapirs. *Geol. Geoph. & Environ. (Prz. Solny)*, **39**, 3: 233–250.
- JAWORSKA J., RATAJCZAK R., 2008 — Budowa geologiczna struktury solnej Wapna w Wielkopolsce (Geological structure of the Wapno salt dome in Wielkopolska western Poland). *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **190**: 1–69.
- JAWORSKA J., RATAJCZAK R., WILKOSZ P., 2010 — Definicja i elementy budowy tzw. czapy gipsowej na przykładzie badań czap strukturalnych Wapna i Mogilna. *Geologia*, **36**, 4: 492–505.
- JAWORSKA J., WILKOSZ P., 2012 — Anoxygen and sulfur isotopic study of gypsum from the Mogilno Salt Dome cap-rock (Poland). *Geol. Quart.*, **56**, 2: 249–250.
- JASIŃSKI Z., 2003 — Podziemny system magazynowania paliw w kawernach solnych na przykładzie kopalni „Góra”. *Tech. Poszuk. Geol.*, **42**, 5: 37–44.
- JASIŃSKI Z., 2004 — Podziemny system magazynowania paliw w kawernach solnych. *Gór. Odkryw.*, **3/4**: 62–69.
- JASIŃSKI Z., MAZUR M.M., MROZIŃSKI P., 2013 — Budowa Podziemnego Magazynu Ropy i Paliw „Góra” – Przykład pomyślnego przekształcenia solankowych komór poeksploatacyjnych w kawerny magazynowe. *Prz. Solny (Salt Rev.)*, *Rocz. PSGS*, **9**: 50–59.
- KALISKI M., GROSS-GOŁACKA E., JANUSZ P., SZURLEJ A., 2013 — Magazynowanie gazu ziemnego w strukturach solnych, stan obecny, perspektywy rozwoju. *Prz. Solny (Salt Rev.)*, *Rocz. PSGS*, **9**: 7–19.
- KALISKI M., SIKORA A., 2013 — Wodór a podziemne magazynowanie energii w strukturach solnych. *Prz. Solny (Salt Rev.)*, *Rocz. PSGS*, **9**: 26–32.
- KŁECZEK Z., ZEJLAŚ D., 2004 — Lokalizacja podziemnego składowiska odpadów promieniotwórczych w Polsce. *Prz. Geol.*, **52**, 1/2: 649–652.
- KŁECZEK Z., RADOMSKI A., ZELJAŚ D., 2005 — Podziemne magazynowanie. *Pr. Nauk. – Monografie KOMAG*, **9**.
- KORTAS G. (red.), 2008 — Ruch górotworu w rejonie wysadów solnych. Wydaw. IGSMiE PAN, Kraków.
- KOVALEVYCH V.M., CZAPOWSKI G., HAŁAS S., PERYT T.M., 2000 — Chemiczna ewolucja solanek cechsztyńskich basenów ewaporatowych Polski: badania inkluzji fluidalnych w halicie z poziomów soli Na1-Na4. *Prz. Geol.*, **48**, 5: 448–454.
- KRZYWIEC P., 2002 — Oświno structure (NW Mid-Polish Trough) – salt diapir or inversion-related compressional structure? *Geol. Quart.*, **46**, 3: 337–346.
- KRZYWIEC P., 2004 — Triassic evolution of the Kłodawa salt structure: basement-controlled salt tectonics within the Mid-Polish Trough (central Poland). *Geol. Quart.*, **48**, 2: 123–134.
- KRZYWIEC P., 2006 — Structural inversion of the Pomeranian and Kuiavian segments of the Mid-Polish Trough – lateral variations in timing and structural style. *Geol. Quart.*, **51**, 1: 151–168.
- KRZYWIEC P., 2009 — Geneza i ewolucja wybranych struktur solnych z obszaru Niżu Polskiego w świetle danych sejsmicznych. *Prz. Geol.*, **57**, 9: 812–818.

- KRZYWIEC P., 2012 — Mesozoic and Cenozoic evolution of salt structures within the Polish Basin – an overview. *W: Salt Tectonics, Sediments and Prospectivity* (red. G.I. Alsop i in.). *Geol. Soc. Spec. Publ., London*, **363**: 381–394.
- KRZYWIEC P., ALEKSANDROWSKI P., FLOREK R., SIUPIK J., 2004 — Budowa frontalnej strefy Karpat zewnętrznych na przykładzie miocenijskiej jednostki Zgłobice w rejonie Brzeska–Wojniczka – nowe dane, nowe modele, nowe pytania. *Prz. Geol.*, **52**, 11: 1051–1059.
- KRZYWIEC P., VERGÉS J., 2007 — Role of the Foredeep Evaporites in Wedge Tectonics and Formation of Triangle Zones: Comparison of the Carpathian and Pyrenean Thrust Fronts. *W: Thrust Belts and Foreland Basins – From Fold Kinematics to Petroleum Systems* (red. O. Lacombe i in.): 383–394. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- KRZYWIEC P., BUKOWSKI K., OSZCZYPKO N., GARLICKA., 2012 — Structure and Miocene evolution of the Gdów tectonic “embayment” (Polish Carpathian Foredeep) – new model based on reinterpreted seismic data. *Geol. Quart.*, **56**, 4: 907–920.
- KRZYWIEC P., OSZCZYPKO N., BUKOWSKI K., OSZCZYPKO-CLOWES M., ŚMIGIELSKI M., STUART F.M., PERSANO C., SINCLAIR H.D., 2014 — Structure and evolution of the Carpathian thrust front between Tarnów and Pilzno (Pogórska Wola area, southern Poland) – results of integrated analysis of seismic and borehole data. *Geol. Quart.*, **58**, 3: 399–416.
- KRZYWIEC P., JAROSIŃSKI M., TWAROGOWSKI J., BURLIGA S., SZEWCZYK J., WYBRANIEC S., CZAPOWSKI G., ZIENTARA P., PETECKI Z., GARLICKA., 2000 — Geofizyczno-geologiczne badania stropu i nadkładu wysadu solnego Damasławek. *Prz. Geol.*, **48**, 11: 1005–1014.
- KUNSTMAN A., URBAŃCZYK K., 2013 — Podziemne magazynowanie energii: wodór w kawernach solnych – aspekty ekonomiczne. *Prz. Solny (Salt Rev.), Roczn. PSGS*, **9**: 20–25.
- KUNSTMAN A., POBORSKA-MŁYNARSKA K., URBAŃCZYK K., 2002 — Zarys otworowego ługownictwa solnego: aktualne kierunki rozwoju. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- KUNSTMAN A., LEPIARZ J., POBORSKA-MŁYNARSKA K., URBAŃCZYK K., 2007 — Wstępne koncepcje likwidacji Kopalni Soli Kłodawa: Likwidacja poprzez planowe zatopienie kopalni. Wstępna analiza możliwości wykorzystania wyrobisk kopalni do składowania odpadów. *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **23**, z. spec. 1: 77–102.
- KUNSTMAN A., POBORSKA-MŁYNARSKA K., URBAŃCZYK K., 2009 — Geologiczne i górnicze aspekty budowy magazynowych kawern solnych. *Prz. Geol.*, **57**, 9: 819–828.
- LANKOF L., ŚLIZOWSKI J., SEERBIN K., 2013 — Możliwości składowania wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych w złożach soli kamiennej. *Prz. Solny (Salt Rev.), Roczn. PSGS*, **9**: 97–100.
- LASKOWSKA T., GAŚKA K., 2010 — Nowe metody i technologie zastosowane w czasie ługowania komór, przy budowie magazynów gazu zlokalizowanych w złożach soli. *Nafta-Gaz*, **56**, 5: 356–361.
- LASKOWSKA T., SZCZEBYŁO J., GAŚKA K., WILKOSZ P., 2009 — Polskie magazyny gazu ziemnego – od Mogilna do Kosakowa. *Prz. Geol.*, **57**, 9: 755–756.
- DE LEEUW A., BUKOWSKI K., KRIJGSMAN W., KUIPER K.F., 2010 — Age of the Badenian salinity crisis; impact of Miocene climate variability on the circum-Mediterranean region. *Geology*, **38**: 715–718.
- MACIEJEWSKI A., 2008 — Podziemne magazynowanie paliw płynnych. *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **34**, 3/2: 39–53.
- MAJ A., D’OBYRN K., 2015 — Określenie stanu podporowej tamy przeciwwodnej i jej ruchów na podstawie obserwacji geodezyjnych w komorze Layer w kopalni Wieliczka. *Prz. Gór.*, **11**: 68–79.
- MALINOWSKI Ł., SAWŁOWICZ Z., PRZYBYŁO J., 2010 — Mineralogiczno-geochemiczna charakterystyka produktów korozji żelaza z kopalni soli „Wieliczka”. *Geologia (Prz. Solny)*, **36**, 3: 313–329.
- MARKIEWICZ A., 2007 — Naskórkowa struktura południowej części monokliny przedsudeckiej, a zagospodarowanie utworów najstarszej soli kamiennej (Na1). *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **23**, z. spec. 1: 33–49.
- MARKIEWICZ A., BECKER R., 2009 — Pierwotny zasięg występowania najstarszej soli kamiennej (Na1) w południowej części monokliny przedsudeckiej (SW Polska). *Geologia*, **35**, 3: 327–348.
- MIKULSKI S.Z., 2015 — Mapy obszarów perspektywicznych występień rud metali i surowców chemicznych w Polsce w skali 1 : 200 000 wraz z ich oceną surowcową i ograniczeniami środowiskowymi i zagospodarowania przestrzennego. *Prz. Geol.*, **63**, 9: 531–533.
- NATKANIEC-NOWAK L., TOBOŁA T., 2003 — Występowanie soli niebieskich w Kłodawie. *Prz. Geol.*, **51**, 5: 435–438.
- NATKANIEC-NOWAK L., WACHOWIAK J., STACH P., 2014 — Mineralogiczno-petrograficzna charakterystyka utworów zubru czerwonego (Na4t) występujących w rejonie otworu M-34 w wysadzie solnym Mogilno. *Prz. Solny (Salt Rev.), Roczn. PSGS*, **10**: 13–24.
- PAWLIKOWSKI M., 2009 — Ewaporaty. Nowe dane mineralogiczne. *Geologia*, **35**, 3: 407–424.
- PERYT T.M., TOMASSI-MORAWIEC H., CZAPOWSKI G., HRYNIV S.P., PUEYO J.J., EASTOE CH. J., VOVNYUK S., 2005 — Polyhalite occurrence in the Werra (Zechstein, Upper Permian) Peribaltic Basin of Poland and Russia: evaporite facies constraints. *Carbonates and Evaporites*, **20**, 2: 182–194.
- PHARAOH T., DUSAR M., GELUK M., KOCKEL F., KRAWCZYK C., KRZYWIEC P., SCHECK-WENDEROTH M., THYBO H., VEJBAEK O., VAN WEES J.D., 2010 — Tectonic evolution. *W: Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area* (red. J.C Doornenbal, A.G. Stevenson): 25–57. EAGE Publications b.v. (Houten).
- PIĄTKOWSKA A., SURAŁA M., PERSKI Z., GRANICZNY M., 2012 — Application of the SAR interferometric methods to identify the mobility of the area above the salt diapir in Inowrocław and the regional salt structures in central Poland. *Geologia*, **38**, 2: 209–220.
- PIEŃKOWSKI G., 2009 — Podziemne magazynowanie węglowodorów w kawernach solnych w Polsce – wymiar strategiczny i możliwości poprawy stanu środowiska naturalnego. *Prz. Geol.*, **57**, 9: 791–797.
- POBORSKA-MŁYNARSKA K., 2000 — Przegląd możliwości wykorzystania podziemnych wyrobisk górniczych do magazynowania substancji użytecznych i składowania odpadów. *Tech. Poszuk. Geol.*, **42**, 223: 65–68.
- POBORSKA-MŁYNARSKA K., 2008 — Wstępna ocena możliwości składowania CO₂ w ługowniczych komorach solnych w Polsce. *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **34**, 3/2: 55–61.
- POBORSKA-MŁYNARSKA K., 2009 — Techniki eksploatacji ługowniczej w złożu solnym Łęczkowice. *Geologia*, **35**, 3: 393–406.

- POBORSKA-MŁYNARSKA K., KORZENIOWSKI W., 2016 — Model koncepcyjny trzostopniowej izolacji w podziemnym składowisku odpadów w wysadzie solnym. *Prz. Solny (Salt Rev.)*, *Rocz. PSGS*, **11** [w druku].
- PRZYBYŁO J., 2009 — Magnum Sal – komora Michałowice w Kopalni Soli Wieliczka. *Geologia*, **35**, 3: 425–446.
- RASAŁA M., 2004 — Budowa geologiczna i kenozoiczna ewolucja wysadu solnego Damasławek. Stresz. ref. PTG o. Poznań, **13**: 57–72. Geological Society, London.
- ROWAN M., KRZYWIEC P., 2014 — The Szamotuły salt diapir and Mid-Polish Trough: Decoupling during both Triassic-Jurassic rifting and Alpine inversion. *Interpretation*, **2**, 4: SM1–SM18.
- SADOWSKI A., POBORSKA-MŁYNARSKA K., CZAPOWSKI G., 2007 — Koncepcja wykorzystania i zagospodarowania wyrobisk poeksploatacyjnych Kopalni Soli „Kłodawa”. *WUG*, **6**, 154: 12–15.
- SAWŁOWICZ Z., PRZYBYŁO J., BOROŃ K., 2014 — Colourful speleothems in the Wieliczka Salt Mine. *Geol. Quart.*, **58**: 449–458.
- SHECK-WENDEROTH M., KRZYWIEC P., ZÜLKE R., MAYSTRENKO Y., FRIZHEIM N., 2008 — Permian to Cretaceous tectonics. *W: The Geology of Central Europe. Cz. 2. Mesozoic and Cenozoic* (red. T. McCann): 999–1030. Geol. Soc. Publ. House.
- SCHLEDER Z., BURLIGA S., URAI J., 2007 — Dynamic and static recrystallization-related microstructures in halite samples from the Kłodawa salt wall (central Poland) as revealed by gamma-irradiation. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen*, **184**, 1: 17–28.
- STOPA J., RYCHLICKI S., KOSOWSKI P., 2008 — Rola podziemnego magazynowania gazu w kawernach solnych. *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **34**, 3/2: 11–23.
- SZUFLICKI M. (red.), 2016 — Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31 XII 2015 r. Państw. Inst. Geol. – Państw. Inst. Bad., Warszawa.
- ŚLIWIŃSKI M., BĄBEL M., NEJBERT K., OLSZEWSKA-NEJBERT D., GAŚIEWICZ A., SCHREIBER B.C., BENOWITZ J.A., LAYER P., 2012 — Badenian–Sarmatian chronostratigraphy in the Polish Carpathian Foredeep. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **326/328**: 12–29.
- ŚLIZOWSKI K., LANKOF L., 2009 — Geologiczne uwarunkowania składowania wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych w złożach soli w Polsce. *Prz. Geol.*, **57**, 9: 829–838.
- ŚLIZOWSKI J., URBAŃCZYK K., CZAPOWSKI G., 2011 — Możliwości magazynowania gazu ziemnego w polskich złożach soli kamiennej w zależności od warunków geologiczno-górnictwowych. Wydaw. IGSMiE PAN, Kraków.
- ŚLIZOWSKI J., URBAŃCZYK K., LANKOF L., SERBIN K., 2010 — Ocena możliwości lokalizacji detektora do badań astrofizycznych w pokładzie soli kamiennej kopalni Polkowice-Sieroszowice. *Geologia*, **36**, 3: 451–457.
- ŚLIZOWSKI K., KÖHSLING J., LANKOF L., 2004 — Uwarunkowania podziemnego składowania odpadów niebezpiecznych w Polsce. T. 129: Studia, Rozprawy, Monografie. Wydaw. IGSMiE PAN, Kraków.
- ŚLIZOWSKI J., NAGY S., BURLIGA S., SERBIN K., POLANOWSKI K., 2015 — Laboratory investigations of geotechnical properties of rock salt in Polish salt deposits. *W: Mechanical Behaviour of Salt VIII* (red. L. Roberts i in.): 33–38. CRC Press Taylor & Francis Group, London.
- TADYCH J., PLUCIŃSKA A., DROGOWSKI J., PARIBEK J., 2014 — Rozpoznawanie budowy geologicznej złoża soli kamiennej „Mogilno I” na podstawie pomiarów georadarem otworowym – korzyści, oszczędności i bezpieczeństwo. *Prz. Solny (Salt Review)*, *Rocz. PSGS*, **10**: 5–12.
- TOBOŁA T., 2000a — Badania koncentracji potasu i magnezu w solach kamiennych złoża Bochni. *Prz. Geol.*, **48**, 12: 1163–1168.
- TOBOŁA T., 2000b — Petrologiczna charakterystyka soli badeńskich w złożu Siedlec-Moszczenica. *Prz. Geol.*, **48**, 12: 1187–1194.
- TOBOŁA T., 2000c — Badania koncentracji bromu w solach kamiennych złoża bocheńskiego. *Prz. Geol.*, **48**, 8: 688–693.
- TOBOŁA T., 2001a — Geochemical characteristic of Badanian salt in „Bochnia” deposit. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **396**: 153–154.
- TOBOŁA T., 2001b — Występowanie strontu w badeńskich solach kamiennych na przykładzie złoża bocheńskiego. *Geologia*, **27**, 2/4: 363–381.
- TOBOŁA T., 2004 — Badania zawartości bromu w solach kamiennych złoża Siedlec-Moszczenica. *Geologia*, **30**, 1: 5–22.
- TOBOŁA T., 2010 — Inkluzje w solach bitumicznych wysadu kłodawskiego. *Geologia*, **36**, 3: 345–365.
- TOBOŁA T., 2014 — The influence of tectonics on petrological characteristics of anhydrite and anhydrite-halite intercalations in the Oldest Halite (Na1) (Zechstein, Upper Permian) of the Bądźów area (SW Poland). *Geol. Quart.*, **58**, 3: 531–542.
- TOBOŁA T., 2016 — Inclusions in anhydrite crystals from blue halite veins in Kłodawa Salt Dome (Poland). *Geol. Quart.*, **60**, 3: 572–585.
- TOBOŁA T., BEZKOROWAJNY A., 2006 — Przejawy ruchów neotektonicznych i współczesnych w bocheńskiej kopalni soli kamiennej. *Geologia*, **32**, 1: 5–19.
- TOBOŁA T., JAWORSKA J., 2014 — Wstępne wyniki badań inkluzji w automorficznych kwarcach z nadkładu wysadu Wapna z otworu C1 (Preliminary results of fluid inclusions investigation in euhedral quartz crystals from overlying sediments of the Wapno Dome, C1 borehole). *Prz. Solny (Salt Rev.)*, *Rocz. PSGS*, **10**: 65–74.
- TOBOŁA T., NATKANIEC-NOWAK L., SZYBISTA A., MISIEK G., JANIÓW S., 2007 — Sole niebieskie w kopalni Kłodawa. *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **23**, z. spec. 1: 117–132.
- TOMASSI-MORAWIEC H., CZAPOWSKI G., 2006 — Brom w skałach ilasto-solnych cechsztynu Polski. *Prz. Geol.*, **54**, 6: 488–495.
- TOMASSI-MORAWIEC H., CZAPOWSKI G., BORNEMANN O., SCHRAMM M., MISIEK G., 2009 — Wzorcowe profile bromowe dla solnych utworów cechsztynu w Polsce. *Gosp. Sur. Miner.*, **25**, 2: 75–143.
- VOVNYUK S., CZAPOWSKI G., 2007 — Generation of primary sylvite: the fluid inclusion data from the Upper Permian (Zechstein) evaporites, SW Poland. *Geol. Soc. Spec. Publ., London*, **285**: 275–284.
- WACHOWIAK J., 2003 — Minerale nierozpuszczalne w wodzie wydzielone ze skał zubrowych cyklotemu PZ-4 w kopalni soli Kłodawa. *Tech. Poszuk. Geol.*, **42**, 223: 23–32.
- WACHOWIAK J., 2010 — Poziomy mineralne w solach cechsztyńskich wysadu solnego Kłodawa jako narzędzie korelacji litostratygraficznej. *Geologia*, **36**: 367–393.
- WACHOWIAK J., PIECZKA A., 2012 — Congolite and trembachite from the Kłodawa Salt Mine, Central Poland: records of the thermal history of the parental salt dome. *The Canadian Mineralogist*, **50**: 1387–1399.
- WACHOWIAK J., PIECZKA A., 2016 — Motukoreaite from the Kłodawa Salt Dome, Central Poland. *Mineralogical Magazine*, **80**, 2: 277–289.

- WACHOWIAK J., PAWLIKOWSKI M., WILKOSZ P., 2012 — Lithostratigraphy of Zechstein evaporites of the central and north-western parts of the Mogilno Salt Diapir, based on boreholes Z-9 and Z-17. *Geol. Geoph. & Environ.*, **38**, 2: 115–151.
- WACHOWIAK J., TOBOŁA T., 2014 — Phase transitions in the borate minerals from the Kłodawa Salt Dome (Central Poland) as the indicators of temperature processes in salt diapirs. *Geol. Quart.*, **58**: 533–544.
- WACHOWIAK J., NATKANIEC-NOWAK L., SMOLIŃSKI W., 2014 — Mineralogiczno-petrograficzna charakterystyka utworów zubru brunatnego (Na3t) występujących w rejonie otworu M-34 w wydzie solnym Mogilno. *Prz. Solny (Salt Rev.)*, *Rocz. PSGS*, **10**: 25–38.
- WACHOWIAK J., KASPRZAK A., 2014 — Charakterystyka mineralogiczna, geochemiczna i izotopowa solanki z samowypływu z otworu M-32 w wydzie solnym Mogilno. *Prz. Solny (Salt Rev.)*, *Rocz. PSGS*, **10**: 39–48.
- WAGNER M., BURLIGA S., 2014 — Coalified bitumens from the Kłodawa Salt Structure (central Poland) as evidence of migration of hydrothermal fluids in Zechstein (Upper Permian) deposits. *Geol. Quart.*, **58**, 3: 555–564.
- WAGNER M., BUKOWSKI K., PRZYBYŁO J., 2008 — Charakter petrograficzny substancji węglowej z osadów solnych Wieliczki. *Gosp. Sur. Miner.*, **24**, 3/2: 225–240.
- WAGNER M., BUKOWSKI K., STOCHEL B., 2010 — Petrologic character of lignite (brown coal) from Badenian salts in the Bochnia Mine (Southern Poland). *Geol. Quart.*, **54**: 439–448.
- WESELUCHA-BIRCZYŃSKA A., TOBOŁA T., 2016 — Hydrocarbon alteration in the bituminous salt of the Kłodawa Salt Dome (Central Poland). *Mar. Petrol. Geol.*, **75**: 325–340.
- WESELUCHA-BIRCZYŃSKA A., TOBOŁA T., NATKANIEC-NOWAK L., 2008 — Raman microscopy of inclusions in blue halites. *Vibrational Spectroscopy*, **48**: 302–307.
- WIEWIÓRKA J., CHARKOT J., DUDEK K., GONERA M., 2007 — Nowe dane do budowy geologicznej złoża i historii górnictwa Kopalni Soli Bochnia. *Gosp. Sur. Miner.*, **23**: 157–162.
- WIEWIÓRKA J., PRZYBYŁO J., BRUDNIK K., CHARKOT J., DUDEK K., 2008 — Tufit WT3 w zabytkowej części Kopalni Soli Wieliczka. *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **24**, 3/2: 211–224.
- WIEWIÓRKA J., CHARKOT J., DUDEK K., GONERA M., 2009a — Historic salt mines in Wieliczka and Bochnia. *Geoturystyka*, **3**, 18: 61–70.
- WIEWIÓRKA J., DUDEK K., CHARKOT J., GONERA M., 2009b — Natural and historical heritage of the Bochnia Salt Mine (South Poland). *Studia UBB, Geologia*, **54**: 43–47.
- WILKOSZ P., 2007 — Porwaki anhydrytów cechsztyńskich w czapie anhydrytowo-gipsowo-iłowej, wydzie solnym Mogilno – pierwsze wyniki. *Gosp. Sur. Miner. (Prz. Solny)*, **23**, z. spec. 1: 65–76.
- WILKOSZ P., BURLIGA S., GRZYBOWSKI Ł., KASPRZYK W., 2012 — Comparison of internal structure and geomechanical properties in horizontally layered Zechstein rock salt. *W: Mechanical Behavior of Salt VII* (red. P. Berest i in.): 89–96. CRC Press Taylor & Francis Group, London.
- WOLNY Ł., CZECHOWSKI F., BURLIGA S., RACZYŃSKI P., HOJNIAK M., 2014 — Hydrocarbons assemblage in the PZ1–PZ2 strata from the Kłodawa Salt Structure, Poland. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, **84**: 363–374.
- WOLKOWICZ S., SMAKOWSKI T., SPECZIK S. (red.), 2011 — Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31 XII 2009 r. Państw. Inst. Geol. – Państw. Inst. Bad., Warszawa.
- ZELEK S., STADNICKA K., SZKLARZEWICZ J., NATKANIEC-NOWAK L., TOBOŁA T., 2008 — Halit z Kłodawy: próba korelacji stopnia deformacji struktury krystalicznej i właściwości spektroskopowych w zakresie UV-VIS. *Gosp. Sur. Miner.*, **32**, 3/2: 159–173.
- ZELEK S., STADNICKA K., TOBOŁA T., NATKANIEC-NOWAK L., 2014 — Lattice deformation of blue halite from Zechstein evaporite basin: Kłodawa Salt Mine, Central Poland. *Mineralogy and Petrology*, **108**, 5: 619–631.
- ZUBER A., GRABCZAK J., GARLICKI A., 2000 — Catastrophic and dangerous inflows to salt mines in Poland as related to the origin of water determined by isotope methods. *Environmental Geology*, **39**, 3/4: 299–311.

SUMMARY

The authors reviewed the major achievements in salt geology in Poland after 2000, presented in papers published in local and international periodicals and as special monographs. These papers reported the results of studies on the two main salt-bearing formations: Zechstein (Late Permian) and Badenian (Middle Miocene). They refer to various aspects of geological sciences such as: stratigraphy, sedimentology, geochemistry, mineralogy, tectonics, hydrogeology, and geophysical investigations of salt complexes. Moreover, the current state of salt potential in Poland is presented, including both resources of documented salt deposits (Tab. 1) and the predicted resources (prospective and prognostic ones – Tab. 2) defined for the prospective occurrences of rock and potash salts to a depth of 2 km (actually assumed as the limit depth for their technically optimal exploitation/management).

Summarising this review the authors suggest the further continuation of hitherto conducted studies on salt complexes but with some new innovations, such as studies of inclusions and isotopic composition (chlorine) for genetic and climatic-environmental interpretations, or maximum usage of data supported by high-resistivity geophysical procedures (e.g., seismics, well logs etc.) to define the internal structure and the evolution of salt bodies. Moreover, the classic analogous geological models of salt seams and structures (e.g., domes, diapirs etc.) have to be replaced by modern 3D digital models which allow recording and imaging all of their geological features and the geochemical-physical parameters of salt series. Such models are obligatory for the current and future planning of salt deposit exploitation, showing the rock zones with optimal usage characteristics and the minimal mining menaces (uncontrolled gas expulsions and water input).

