

ZASTOSOWANIE GEORADARU DO IDENTYFIKACJI POTENCJALNYCH ŹRÓDEŁ ZAGROŻEŃ GAZOWYCH ORAZ ROZPOZNANIA BUDOWY GEOLOGICZNEJ POKŁADU NAJSTARSZEJ SOLI KAMIENNEJ (NA1) W O/ZG POLKOWICE-SIEROSZOWICE

USING A GEORADAR TO IDENTIFY POTENTIAL SOURCES OF GAS RISKS AND TO RECOGNIZE THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE ZECHSTEIN OLDEST HALITE ROCK SALT DEPOSIT (NA1) AT THE POLKOWICE-SIEROSZOWICE MINE

TOMASZ CHRUL¹, WALDEMAR PAWLIK¹, JOANNA WRZOSEK¹

Abstrakt. W KGHM Polska Miedź S.A. w O/ZG Polkowice-Sieroszowice jest wykorzystywana metoda georadarowa do rozpoznawania budowy geologicznej pokładu najstarszej soli kamiennej (Na1). Impulsem do zastosowania georadaru było pojawienie się zagrożenia gazowego w wykonywanych wyrobiskach górniczych. Metoda ta doskonale sprawdza się do lokalizowania bloków anhydrytowych, będących potencjalnym miejscem akumulacji siarkowodoru oraz jest pomocna przy określaniu stropu i spągu pokładu soli. W badaniach zastosowano anteny o częstotliwościach 100 MHz i 30 MHz, którymi osiągnięto zasięgi odpowiednio 40 m i 60 m przy rozdzielczości 0,25 m i 1,0 m. Profilowania z użyciem georadaru wykonywano w otworach badawczych i wzdłuż spągu wyrobisk.

Słowa kluczowe: georadar, złożo soli, bloki anhydrytowe, siarkowodór.

Abstract. The Polkowice-Sieroszowice Mine the KGHM Polska Miedź S.A. uses the georadar method to recognize the geological structure of the Zechstein (Upper Permian) Oldest Halite rock salt deposits (Na1). The incentive to use the georadar was the occurrence of a gas risk in mining excavations. This method is ideal for locating anhydrite blocks, that are potential sites of hydrogen sulphide accumulation, and is helpful in determining the top and base of the salt deposits. In the tests, 100 MHz and 30 MHz antennas were used, which reached the ranges of 40 m and 60 m and resolutions of 0.25 m and 1.0 m, respectively. The profiling with use of a georadar was performed in research boreholes and along the floors of excavation drifts.

Key words: georadar, salt deposit, anhydrite blocks, hydrogen sulphide.

WSTĘP

Udostępnianie głębszych obszarów złoża rud miedzi w Obszarze Górniczym Sieroszowice i Obszarze Górniczym Głogów Głęboki-Przemysłowy (fig. 1) wiąże się między innymi z koniecznością zapewnienia odpowiednich warunków klimatycznych i wentylacyjnych oraz z eliminacją aero-

gicznych zagrożeń naturalnych w wyrobiskach górniczych (Soroko i in., 2015). Aby sprostać tym wymaganiom opracowano koncepcję włączenia wyrobisk pokładu soli w sieć wentylacyjną odprowadzającą zużyte powietrze oraz szkodliwe gazy pochodzenia naturalnego z poziomu złoża rud

¹ KGHM Polska Miedź S.A., Oddział Zakłady Górnicze Polkowice-Sieroszowice, Kaźmierzów 100, 59-101 Polkowice: e-mail: tomasz.chrul@kgm.com, waldemar.pawlik@kgm.com, joanna.wrzosek@kgm.com.

miedzi. W tym celu połączono przekop wentylacyjny Ps-10 wykonany w złożu soli, poprzez szybik i przekop wentylacyjny E-145 poprowadzony w utworach anhydrytu dolnego (A1d) i w dolomitach (Ca1) z chodnikiem W-145a na poziomie złoża rud miedzi. Z drugiej strony zaplanowano wykonywanie wyrobisk w złożu soli w kierunku do zbitcia z szybem SG-2. Pierwszy wariant zakładał wykonanie przekopów wentylacyjnych SG-2 i SG-2A, a później również SG-2B, ale po pojawieniu się strefy tektonicznej, związanej z gwałtownym obniżeniem się spągu spękanych utworów anhydrytu górnego (A1g) (kontakt poprzez spękania warstw A1g stanowiących izolację z nadległą warstwą wodonośną w obrębie utworów dolomitu głównego Ca2) i braku możliwości ominięcia tej strefy, kierunek ten został zaniechany (fig. 2). W drugim wariantcie, kontynuowanym obecnie, zostały wykonane chodniki Ps-1 i Ps-0 oraz częściowo przekop wentylacyjny Ps-0a i Ps-1a. Z powodu niedostatecznego rozpoznania górotworu oraz znacznych różnic w miąższości pokładu prowadzenie wyrobisk w obu przypadkach nastęczało dużych trudności.

W październiku 2014 r. w jednym z wyrobisk górniczych wystąpiło zjawisko gazo-geodynamiczne, po raz pierwszy zanotowane w pokładzie soli eksploatowanym przez O/ZG Polkowice-Sieroszowice. W czole przecinki P-1 z przekopu Ps-14 (fig. 1 i 2) wystąpił niekontrolowany wypływ siarkowodoru o znacznym stężeniu, wahającym się od 50 do 450 ppm.

Było to spowodowane nacięciem przez kombajn bloku anhydrytowego, z uwięzionym szkodliwym gazem. Po zatamowaniu wypływu, przekop Ps-14 i Ps-15 zaliczono do I kategorii zagrożenia wyrzutami gazów i skał (fig. 2), a powyżej przecinki P-40g została wyznaczona strefa niebezpieczna, czyli strefa, w której istnieje możliwość wystąpienia zagrożenia gazowego. Wznowienie robót górniczych w tym rejonie nastąpiło po zmianie sposobu rozpoznawania złoża, polegającym głównie na: (a) wykonywaniu otworów badawczych w osiach wyrobisk zgodnie z azymutem i kątem projektowanych wyrobisk, (b) zastosowaniu techniki badań georadarowych do rozpoznania górotworu pod kątem występowania w sąsiedztwie wyrobisk potencjalnie gazonośnych bloków anhydrytowych.

W trakcie prac górniczych w przekopach wentylacyjnych SG-2 i SG-2A pojawiła się dodatkowa możliwość wykorzystania georadaru, a mianowicie do monitorowania położenia stropu oraz spągu pokładu soli, w celu utrzymania odpowiedniej półki bezpieczeństwa do kontaktu z anhydrytem dolnym (A1d) oraz anhydrytem górnym (A1g). Było to o tyle ważne, że istniała możliwość wystąpienia zagrożeń naturalnych z obu tych kierunków. Od anhydrytu dolnego (A1d) mogło nastąpić realne zagrożenie gazowe, notowane w tym rejonie na poziomie złoża miedzi. Natomiast od anhydrytu górnego (A1g) istniało potencjalne niebezpieczeństwo związane z zagrożeniem wodnym.

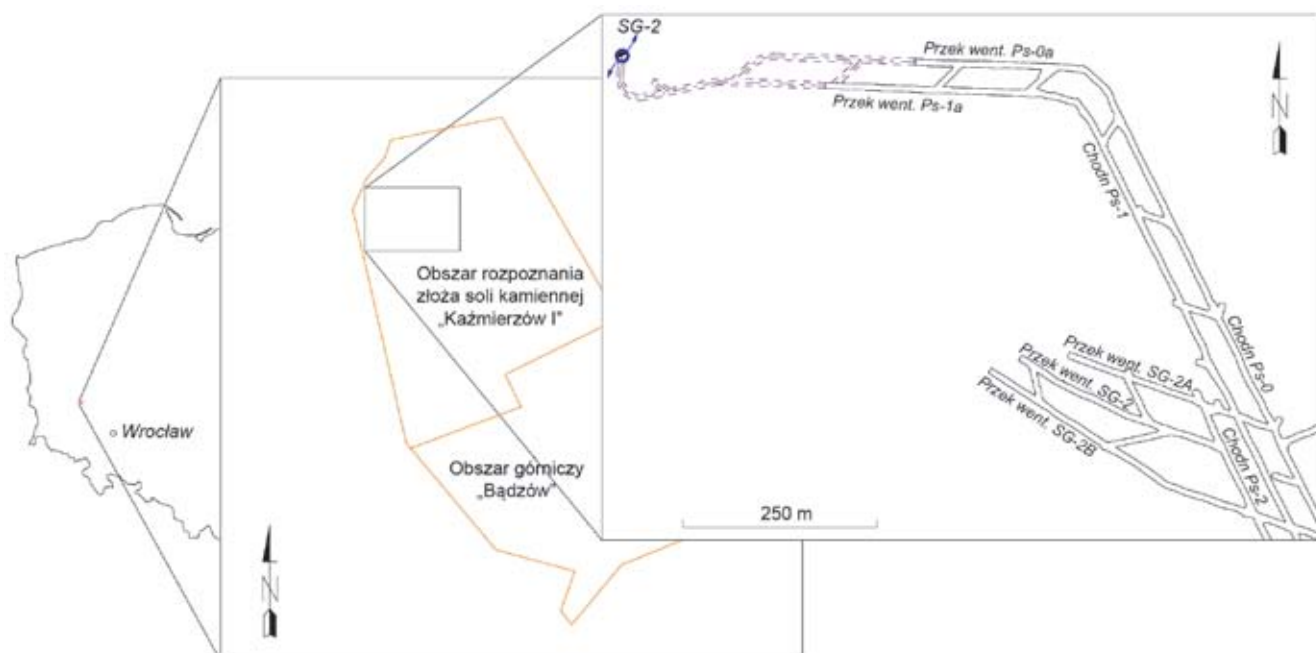


Fig. 1. Mapa lokalizacyjna omawianego obszaru

Location of the area under discussion

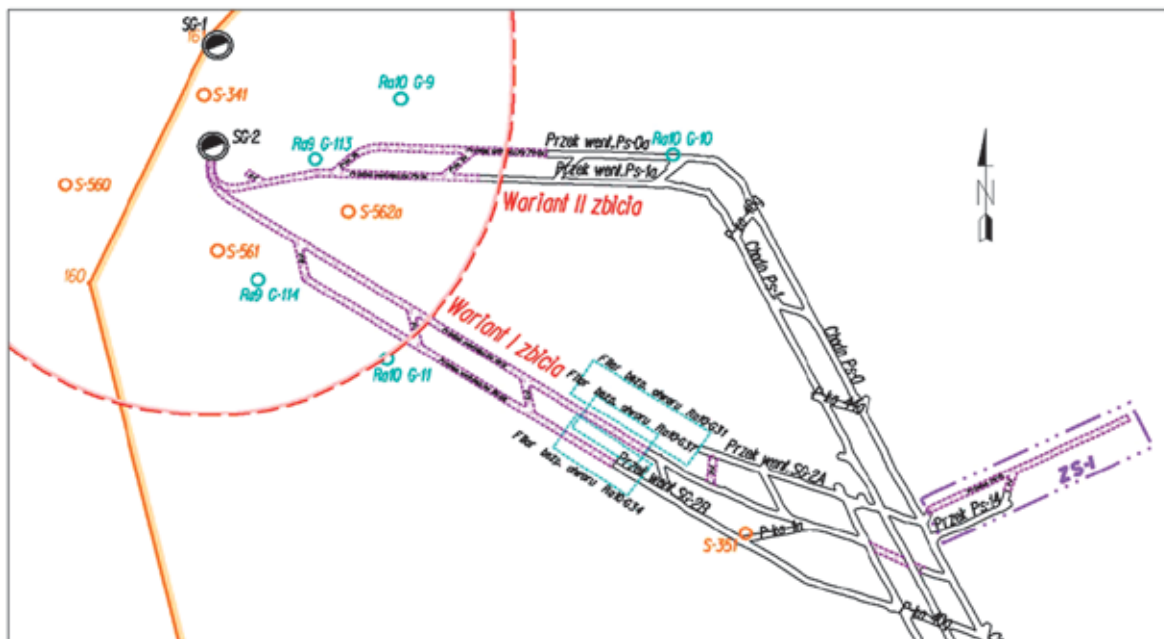


Fig. 2. Dwa warianty połączenia wyrobisk górniczych z szybem SG-2 oraz stan rozpoznania górotworu otworami powierzchniowymi i pionowymi dolowymi

Two variants of connecting drifts with the SG-2 shaft and the state of knowledge of the rock mass with use of surface and vertical underground boreholes

BUDOWA GEOLOGICZNA POKŁADU NAJSTARSZEJ SOLI KAMIENNEJ (NA1)

Pokład soli kamiennej w obszarze górniczym Sieroszowice tworzą sole kamienne należące do cyklotemu PZ1, ogniwa najstarszej soli kamiennej Na1 (Wagner, 1994). Bezpośrednio pod solami występuje anhydryt dolny (A1d) o miąższości 20–90 m, a nad nimi anhydryt górny (A1g) o miąższości 40–90 m.

W obszarze rozpoznania złoża soli kamiennej „Kazmierzów 1” (fig. 1) miąższość soli waha się od ok. 30 m do ok. 120 m, przy średniej miąższości ok. 70 m. Lokalnie w części północno-zachodniej obszaru miąższość soli wynosi zaledwie ok. 5 m (otwór S-341). Spąg soli kamiennej zalega na głębokości od –690 m p.p.m. w południowo-zachodniej części do –840 m p.p.m. w północno-wschodniej części obszaru. Strop pokładu soli zalega na głębokości od –670 m p.p.m. w południowo-zachodniej części do –770 m p.p.m. w kierunku północnym. Odległość spągu soli od spągu cechu sztytnu waha się od 50 m do 90 m.

Pokład soli charakteryzuje się zmienną miąższością i złożoną budową wewnętrzną, przejawiającą się deformacjami i zaburzeniami pierwotnego zalegania warstw (fig. 3 i 4), na które miały wpływ czynniki sedymentacyjne i tektoniczne (Szybist, 1976). Utrudnia to lub uniemożliwia określenie

następstwa stratygraficznego i korelację poszczególnych wydzielen litologicznych między wyrobiskami i otworami wiertniczymi. Poza różnicami w strukturze i teksturze soli kamiennych, głównym kryterium wydzielenia odmian petrograficznych soli jest ilość domieszek zanieczyszczeń anhydrytowych i ilastych. Na tej podstawie można wyróżnić wiele typów petrograficznych soli kamiennej, od soli czystej (bez widocznych makroskopowo zanieczyszczeń), do soli z grubymi przerostami anhydrytu (ze średnią lub dużą zawartością różnych form skupień anhydrytu) oraz warstw brekcji solno-anhydrytowej i anhydrytów śródsolnych.

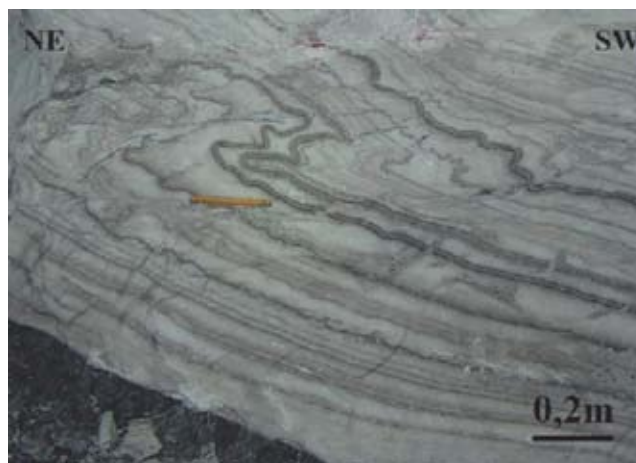


Fig. 3. Zaburzone warstwowanie w soli (lokalizacja: Up. F-9)

Disturbed of layering in the rock salt bed (location site: Up. F-9)

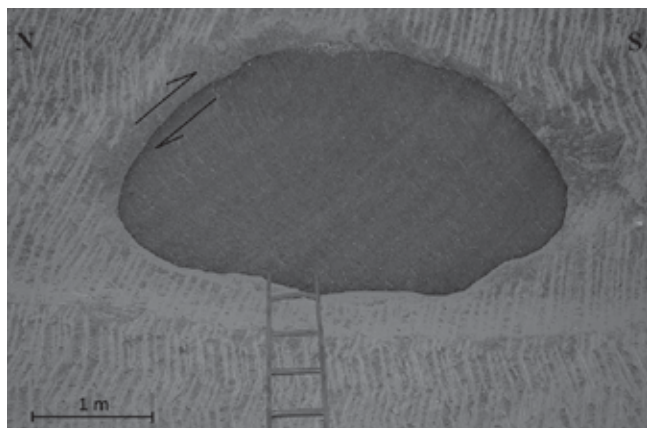


Fig. 4. Lustro tektoniczne odsłonięte w czole przodka PS-0a

Slikenside along a fault surface exposed in the face of the PS-0a excavation

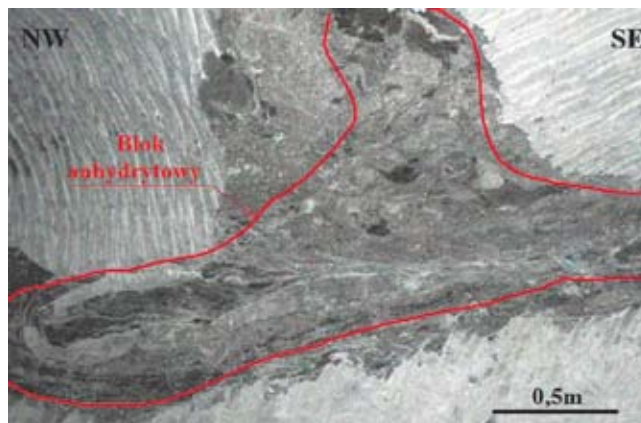


Fig. 5. Blok anhydrytowy w ociosie wyrobiska PS-1

Anhydrite block in the wall of the PS-1 drift

Przerosty anhydrytów śródsolnych w profilu złoża soli są częstym zjawiskiem. Występują one na ogół w pobliżu spągu pokładu soli, ale również w jego części środkowej i stropowej. Są to nieregularnie wykształcone warstwy o zmiennej miąższości, jak też nieregularne ciała anhydrytowe w formie soczew i bloków (fig. 5).

W profilu pokładu soli wspomniane anhydryty są reprezentowane przez jedną, dwie lub nawet trzy warstwy, a ich miąższość waha się od 0,04 m do 9,0 m. Korelacja przerostów anhydrytowych jest utrudniona ze względu na ich facjalne prze-

chodzenie w sól kamienną (Szybist, 1976) zarówno w profilu pionowym, jak i poziomym oraz ze względu na tektoniczne deformacje w obrębie pokładu soli. Warstwy anhydrytu, jako skały sztywne w wyniku deformacji tektonicznej, mogą występować w formie izolowanych, silnie spękanych bloków, poprzesuwanych względem siebie. Omawiane anhydryty mają strukturę mikro- i kryptokrystaliczną, teksturę zbitą, masywną, ale nierzadko zdarzają się w nich tekstury porowate lub wręcz kawerniste. W połączeniu z systemem szczelin i spękań, anhydryty takie są dobrym ośrodkiem akumulacji gazów.

METODYKA PRAC BADAWCZYCH

W wiązce wyrobisk PS-0 i PS-1 drążonych w kierunku szybu SG-2 występują duże deniwelacje spągu i stropu pokładu soli kamiennej z czym wiąże się zmniejszanie jego miąższości. Ponadto z anhydrytami dolnym i śródsolnym (A1d i A1s) są związane zagrożenia gazowe, natomiast z anhydrytem górnym (A1g) – zagrożenie wodne. Mając na względzie bezpieczeństwo pracowników zatrudnionych w oddziale solnym G-55, dział geologiczny kopalni stanął przed wyzwaniem opracowania skutecznej metodyki rozpoznania budowy geologicznej pokładu soli kamiennej, która umożliwi bezpieczne prowadzenie robót. W takiej sytuacji otwór wiertniczy, wykonywany w przodku o kącie nachylenia i azymucie projektowanego wyrobiska, jest niewystarczający, ponieważ dostarcza jedynie informacji punktowej. Zwiększenie obszaru badań umożliwia badania georadarowe (fig. 6 i 7). Podstawą zastosowania techniki georadarowej do prowadzenia rozpoznania budowy geologicznej i zagrożenia gazowego były wyniki prac zleconych przez Dział Geologiczny O/ZG Polkowice-Sieroszowice. Wnioski z nich są następujące:

- przeprowadzone badania georadarowe są skuteczną metodą rozpoznania budowy geologicznej złoża soli oraz określenia możliwości wystąpienia zagrożenia gazowego;

- badania radarowe otworów wiertniczych, ociosów i spągów dobrze rejestrują występowanie struktur planarnych (czyli np. przewarstwień anhydrytowo-ila-stych), jak i obiektów występujących w soli (bloków anhydrytowych), identyfikując je jako strefy silnego tłumienia fali elektromagnetycznej.

Dla realizacji drążenia wiązki wyrobisk w kierunku zbicia z szybem SG-2 opracowano sposób rozpoznania złoża polegający przede wszystkim na:

- wykonywaniu w każdym wyrobisku otworów badawczych wyprzedzających;
- przeprowadzaniu rozpoznania górotworu przy zastosowaniu badań georadarowych w otworach wiertniczych;
- prowadzeniu robot górniczych zgodnie z zaleceniami na podstawie wyników badań georadarowych;
- badaniu georadarowym wzdłuż spągu wykonanego wyrobiska celem weryfikacji badań georadarowych otworowych przy wykorzystaniu anten do profilowania powierzchniowych.

Otwory badawcze wyprzedzające są prowadzone zgodnie z azymutem i kątem nachylenia projektowanego wyrobiska na odległość nie przekraczającą 135 mb. Średnica początkowa otworu wynosi 32 mm, a następnie otwór jest poszerzany do 93 mm. Po rozwierceniu otwór jest zarurowany rurami



Fig. 6. Pomiar georadarem otworowym w otworze wiertniczym

Borehole georadar reflection survey

PVC o średnicy 75 mm w celu zabezpieczenia anteny georadarowej otworowej przed przechwyceniem (fig. 6). Ze względu na poziome i prawie poziome otwory wiertnicze antena georadarowa jest zapuszczana do otworu za pomocą specjalnie przygotowanych żerdzi (fig. 6) (jest to modyfikacja anteny przeznaczonej do badań otworów pionowych, powierzchniowych).

W celu wyeliminowania zakłóceń żerdzie są wykonane z rur PPE, a antena jest połączona z jednostką centralną za pomocą światłowodu. W metodzie georadarowej refleksyjnej wykorzystuje się zjawisko propagacji fal elektromagnetycznych w ośrodku geologicznym, ich odbicia na granicach ośrodków różniących się parametrami elektrycznymi (Karczewski, 2007). Sygnał radarowy emitowany z anteny nadawczej (Tx) przenika przez górotwór i po odbiciu od granic ośrodków powraca do anteny odbiorczej (Rx). Wyznacznikiem głębokości jest czas, jaki upłynął od momentu wysłania sygnału do jego powrotu oraz prędkość rozchodzenia się fali w ośrodku skalnym. Powracająca fala jest rejestrowana w formie cyfrowej i zapisywana w postaci echogramu.

Georadar otworowy działa na podobnej zasadzie jak georadar do badania powierzchniowego, z tą różnicą, że w badaniu powierzchniowym impulsy odbite pochodzą z jednej półprzestrzeni, a w georadarze otworowym impulsy odbite są rejestrowane z pełnej przestrzeni (360°) wokół otworu. Stwarza to utrudnienia w określeniu kierunku, w którym znajduje się obiekt powodujący zaburzenie propagacji fali, natomiast z wysoką dokładnością można określić jego odległość od otworu (fig. 7).

W badaniach otworowych zastosowano system georadarowy 100 MHz Slimhole Borehole Antenna firmy Mała Geoscience AB, w którego skład wchodzi antena nadawcza Tx (długość 1,89 m, średnica 40 mm), antena odbiorcza Rx (długość 1,76 m, średnica 40 mm), z wbudowanymi akumulatorami pozwalającymi na ponad 7 godzin pracy, separator z włókna szklanego o długości 1 m oraz kabel światłowodowy, wzmocniony o długości 150 mb i o nośności 650 kg (fig. 8A).

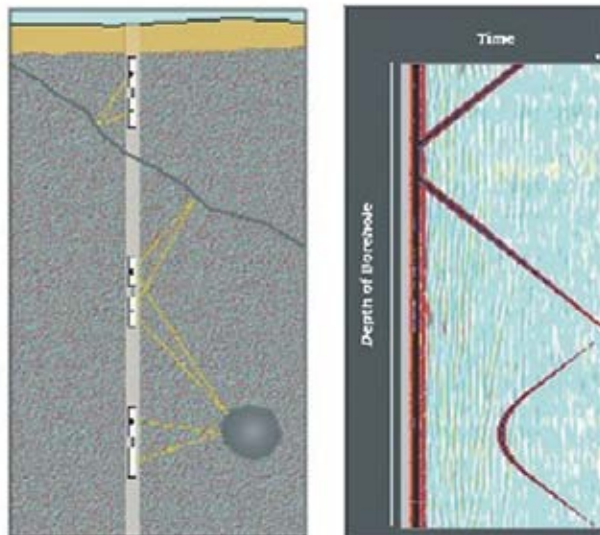


Fig. 7. Schemat zasady działania georadaru otworowego (po lewej) oraz przykładowy echogram z badania powierzchni nieciągłości i ciała kulistego (po prawej)
Materiały informacyjne firmy Mała GS

A diagram showing a scheme of borehole ground penetrating radar operation (left) and an radargram presenting planar discontinuity and spherical body survey (right). Mała GS promotion prospects

W badaniach spągu pokładu soli zastosowano antenę ekranowaną 100 MHz (fig. 8C) oraz antenę nieekranowaną typu RTA 30 MHz (fig. 8D), którą dodatkowo wykorzystuje się do badań po ociosach wyrobisk. Wszystkie wymienione anteny są podłączone do jednostki centralnej ProEx, która jest podstawową częścią systemu, a jej głównym zadaniem jest generowanie fali elektromagnetycznej i zapisywanie danych. Do ustawienia parametrów pracy, odczytu i podglądu echogramu służy monitor XV (fig. 8B).

Uzyskane dane z pomiarów georadarowych w dalszej kolejności poddano przetwarzaniu geofizycznemu za pomocą programu ReflexW. Procedura obróbki danych polega na usunięciu szumów z zakłóceń pochodzących od niejednorodności ośrodka geologicznego lub/i aparatury pomiarowej oraz obiektów położonych w bliskim sąsiedztwie, np. kabli elektrycznych, stacji i rozdzielni elektrycznych, wentylatorów, odpylni itp. (Karczewski, 2007). Następnie sygnał jest poddawany filtracji i wzmocnieniu. W ostatnim etapie echogram jest przetwarzany ze skali czasowej na głębokościową. Dokonuje się to poprzez zdefiniowanie prędkości propagacji fali w ośrodku geologicznym. Na figurze 9 jest przedstawiony przykładowy echogram wykonany anteną otworową 100MHz w otworze Ra10/G-39, gdzie zaznaczono przypuszczalny przebieg spągu i stropu pokładu soli.

Ważnym elementem interpretacji geofizycznej jest obraz tzw. strefy bliskiej (strefy okołotworowej; fig. 10). Standardowe przetwarzanie nie daje jednoznacznej odpowiedzi czy w tej strefie, tj. o średnicy ok. 10 m wokół otworu, czyli w świetle projektowanego wyrobiska, nie ma porwaków anhydrytowych, ponieważ w górnej części echogramu jest rejestrowany efekt pochodzący od fali bezpośredniej oraz



Fig. 8. A. Elementy zestawu 100MHz Slimhole Borehole Antenna producenta Malá Geoscience AB. B. Jednostka centralna georadaru ProEx wraz z monitorem XV. C. Antena ekranowana 100 MHz. D. Antena nieekranowana RTA 30 MHz. Materiały informacyjne firmy Malá

A. Elements of the Malá Geoscience AB 100 MHz Slimhole Borehole Antenna Set. B. Control Unit of ProEx ground penetrating radar with XV Monitor. C. Shielded antenna 100 MHz. D. Unshielded antenna RTA 30 MHz. Malá GS promotion prospects

od spękań okołotworowych. Z tego powodu standardowy echogram jest przetwarzany w sposób zaawansowany, czyli na tzw. amplitudy chwilowe, a następnie poddawany filtracji morfologicznej.

W wyniku dotychczasowych prac geofizycznych wykonanych przez Dział Geologiczny O/ZG Polkowice-Sieroszwice przebadano 24 otwory wiertnicze o łącznej długości 2640 mb i 2100 mb profili spągów wyrobisk górniczych.

INTERPRETACJA WYNIKÓW BADAŃ NA PRZYKŁADZIE OTWORU RA10/G-49 I WYROBISKA PS-1a

Ze względu na dużą ilość przeprowadzonych badań georadarowych, autorzy postanowili ograniczyć liczbę interpretacji geofizycznych do jednego otworu wiertniczego Ra10/G-49 i dwóch profili spągowych wykonanych w PS-1 z przecinki 52 (fig. 11).

Na echogramie otworu Ra10/G-49, odwierconego w osi wyrobiska PS-1a (fig. 12), wyraźnie zaznacza się pas wysokoamplitudowych refleksów w przedziale głębokościowym 0–4 m, miejscami dochodzący do 6 m na całej długości otworu ($x = 0\text{--}113$ mb). Ta część echogramu to strefa bliska, w której uwidacznia się obszar spękań okołotworowych (fig. 13). W pasie tym są widoczne zaniki sygnałów na odcinkach $x = 16; 35; 77\text{--}81$ m związanych ze zwiększonym udziałem w soli anhydrytu i materiału ilastego.

Brak strefcienia i hiperbol dyfrakcyjnych jest jednoznaczny z brakiem bloków anhydrytowych w tych miejscach. Znaczne odchylenie się pasa wysokoamplitudowego na $x = 113\text{--}124$ m i równoczesny brak sygnału na głębokości 2–6 m spowodowane jest obecnością w ścianach otworu płuczki solankowej po wierceniu, która jest bardzo dobrym ekranem dla fal elektromagnetycznych. Skośna, wyraźna grupa refleksów na $x = 120\text{--}124$ m na głębokości 6–2 m rejestruje odbicie od dna otworu.

W dalszej części echogramu (fig. 12) ciąg refleksów od $x = 9\text{--}113$ m na głębokości 6–10 m rejestruje strop anhydrytu dolnego (A1d), czyli – spąg pokładu soli.

Natomiast anomalie zarejestrowane na $x = 17\text{--}113$ m z pewnymi przerwami na głębokości 14–22 m przedstawiają spąg utworów anhydrytu górnego (A1g), czyli strop pokładu soli. Czwartą strefę anomalną zarejestrowano na głębokości 8–9 m, na długości otworu $x = 8,5\text{--}23$ mb i w dalszej części gwałtownie zanika. Odmienny przebieg tej grupy refleksów względem tych powyżej opisanych świadczy o ich pochodzeniu z innego kierunku i prawdopodobnie z lewej lub z prawej strony od przewarstwień anhydrytowych w soli. Aby to stwierdzić należałoby odwiercić drugi otwór wiertniczy o innym azymucie. Wtedy w przybliżeniu można określić kierunek anomalii. Po wprowadzeniu poprawki topograficznej uzyskujemy faktyczny obraz granic litologicznych z dokładnym ich przebiegiem na całej długości otworu.

Przeprowadzenie badań wzdłuż spągu wyrobiska PS-1a (fig. 14 i 15) umożliwiło wyznaczenie stropu anhydrytu dolnego (A1d). Dzięki wprowadzeniu do przetwarzania danych poprawki topograficznej otrzymano rzeczywistą morfologię spągu pokładu soli. Wykonanie dwóch profili georadarowych wzdłuż wyrobiska (fig. 14 i 15) pozwala na wyznaczenie kąta i kierunku zapadania stropu anhydrytu dolnego. W tym przypadku profile zostały wykonane w odstępnie 2,0 m, różnica głębokości zalegania spągu pokładu soli wynosi ok. 1,1 m, co daje nachylenie ok. 33° ku S.

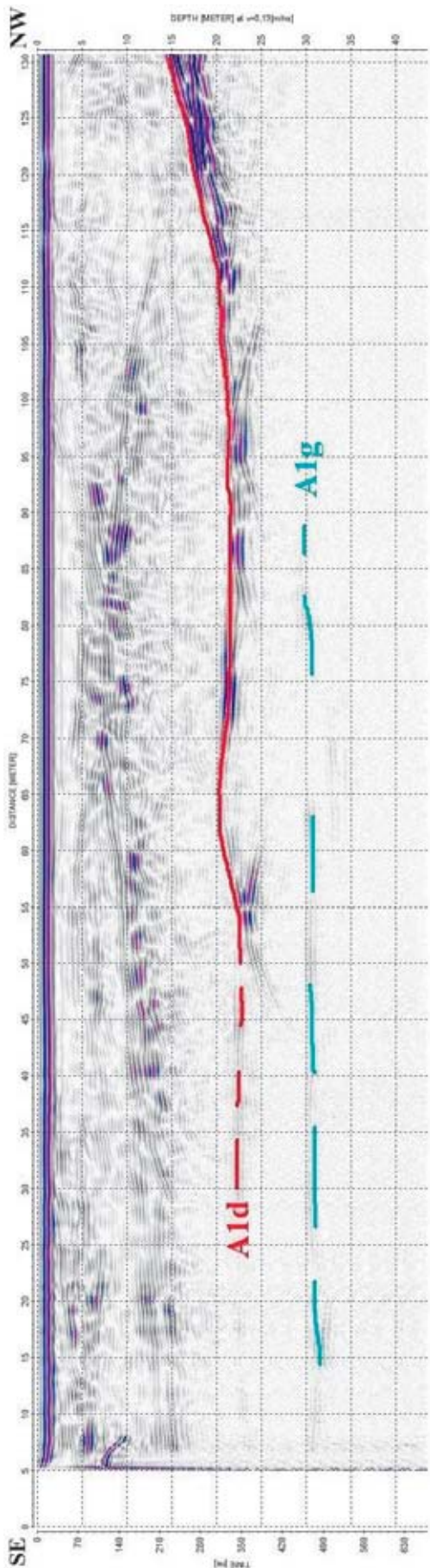


Fig. 9. Echogram otworu Ra10/G-39
Radargram of Ra10/G-39 borehole

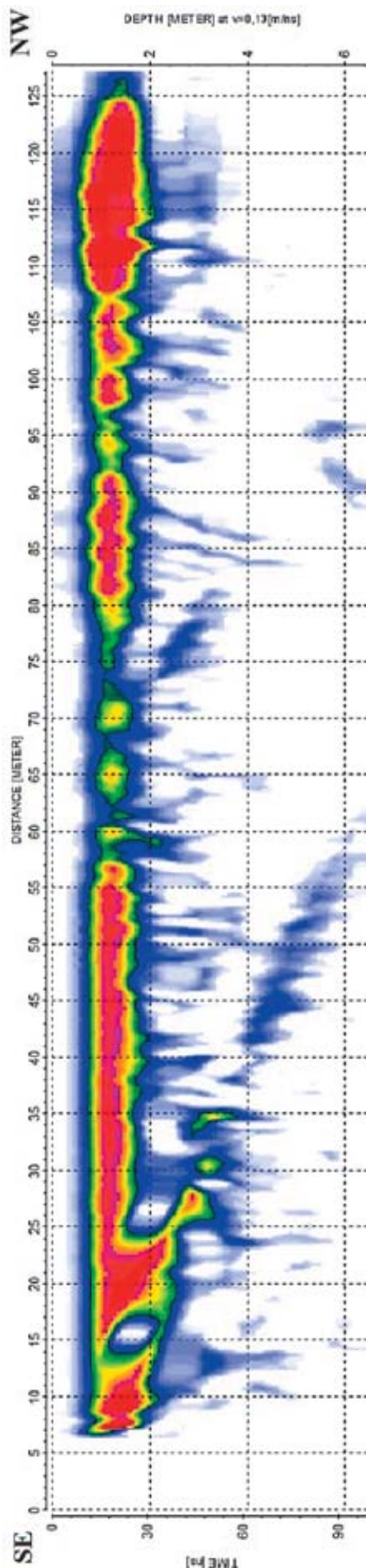


Fig. 10. Echogram strefy bliskiej otworu Ra10/G-46
Radargram of a close zone of the Ra10/G-46 borehole

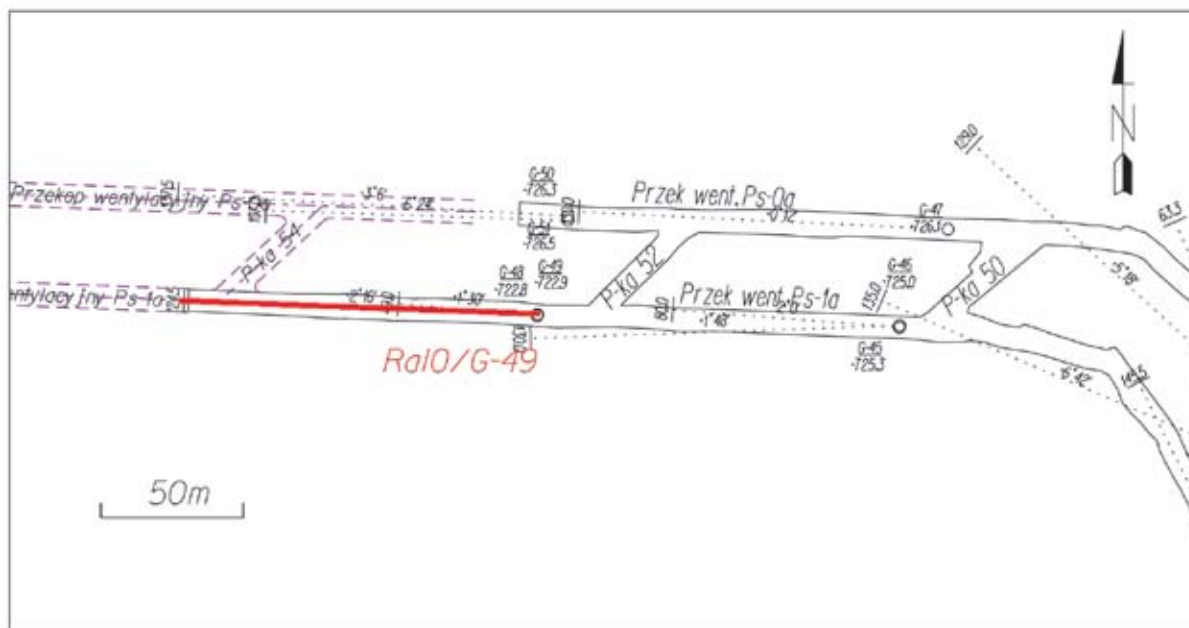


Fig. 11. Mapa lokalizacyjna omawianego obszaru

Location of the area under discussion

Poprzez bieżące określanie zalegania stropu i spągu pokładu soli, staje się możliwe sterowanie wyrobiskami górnymi w taki sposób, aby zapewnić odpowiedniej miąższości półkę bezpieczeństwa i uniknąć kontaktu z dolnym lub górnym anhydrytem. Bezpośrednio przekłada się to na bezpieczeństwo pracującej załogi i prowadzenia robót górnictwa. Na figurze 16A przedstawiono przekrój przez pokład soli wzdłuż chodnika PS-1, z zaznaczonym stropem i spągami, wykonany na podstawie otworów wiertniczych powierzchniowych oraz otworów dołowych pionowych.

Natomiast przekrój na fig. 16B został zmodyfikowany

w trakcie postępu robót górnictwa na podstawie badań geofizycznych dołowych. W sytuacjach, w których mamy do czynienia z bardzo zmienną morfologią stropu i spągu pokładu soli, badania geofizyczne są cennym uzupełnieniem informacji geologicznej. Dodatkowym i bardzo istotnym źródłem informacji jest profilowanie georadarowe prowadzone wzdłuż spągu wyrobiska. Poza określeniem przebiegu morfologii stropu anhydrytu dolnego (A1d) pozwala ono również z dużą precyzją, przy dwóch profilowaniach przy przeciwległych odciosach i przy rozdzielczości anteny 0,25 m, określić jego zaleganie poprzecznie względem osi wyrobiska.

PODSUMOWANIE

Pionierskie zastosowanie badań georadarowych w górnictwie solnym w O/ZG Polkowice-Sieroszowice umożliwiło uszczegółowienie budowy wewnętrznej pokładu najstarszej soli kamiennej. Kontrast parametrów elektromagnetycznych między anhydrytem i solą, czyli różnica względnych przenikalności elektrycznych ϵ_r , wynosząca ok. 1 oraz różnica elektrycznych oporności właściwych ρ rzędu $10^{10} \Omega\text{m}$, pozwala na wykrycie różnej wielkości ciał anhydrytowych w masie solnej. Również wysoka oporność elektryczna ρ soli umożliwia uzyskanie stosunkowo dużych zasięgów głębokościowych: 40 m dla anten 100 MHz i 60 m dla anteny 30 MHz, co doskonale sprawdza się przy określaniu granic pokładu soli, tj. stropu i spągu. W celu prawidłowego prowadzenia wyrobiska w strefie spodziewanej zmiennej miąższości po-

kładu soli została ustalona odpowiednia metodyka badawcza bazująca na użyciu georadaru. W pierwszej kolejności w czole przodka jest wiercony badawczy otwór wyprzedzający o azymucie i kącie nachylenia zgodnym z zaprojektowanym wyrobiskiem. Na podstawie rdzenia wiertniczego uzyskuje się punktową informację o budowie geologicznej, litologii, odmianach petrograficznych soli i przerostach anhydrytu. Następnie, po wykonaniu badania georadarem otworowym, otrzymuje się echogram, a po jego interpretacji i wyznaczeniu spągu oraz stropu pokładu, jest możliwe prawidłowe zaprojektowanie przebiegu wyrobiska, uwzględniające utrzymanie odpowiedniej, bezpiecznej odległości od granic litologicznych oraz omijający potencjalne zagrożenie gazowe. Po wykonaniu przekopu przeprowadza się profilowanie

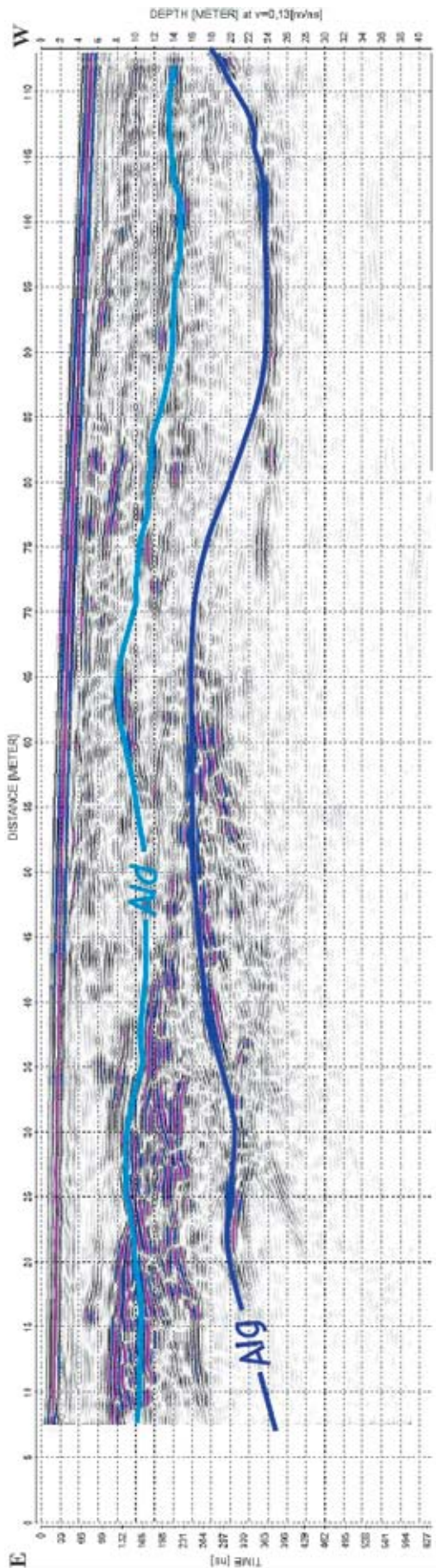


Fig. 12. Echogram otworu Ra10/G-49
Radargram of the Ra10/G-49 borehole

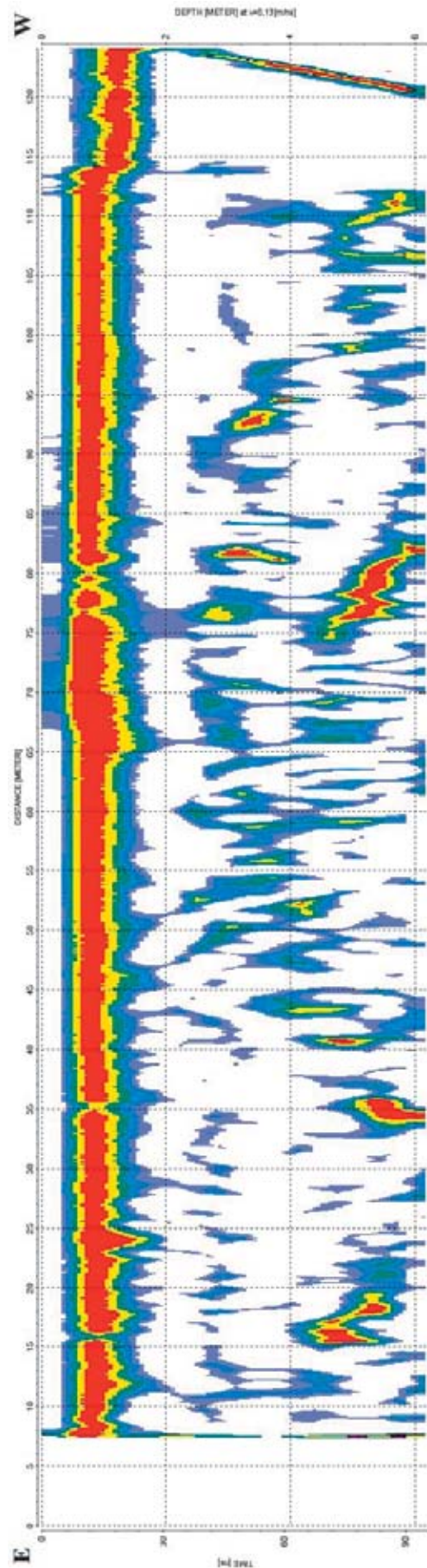


Fig. 13. Echogram strefy bliskiej otworu Ra10/G-49
Radargram of a close zone of the Ra10/G-49 borehole

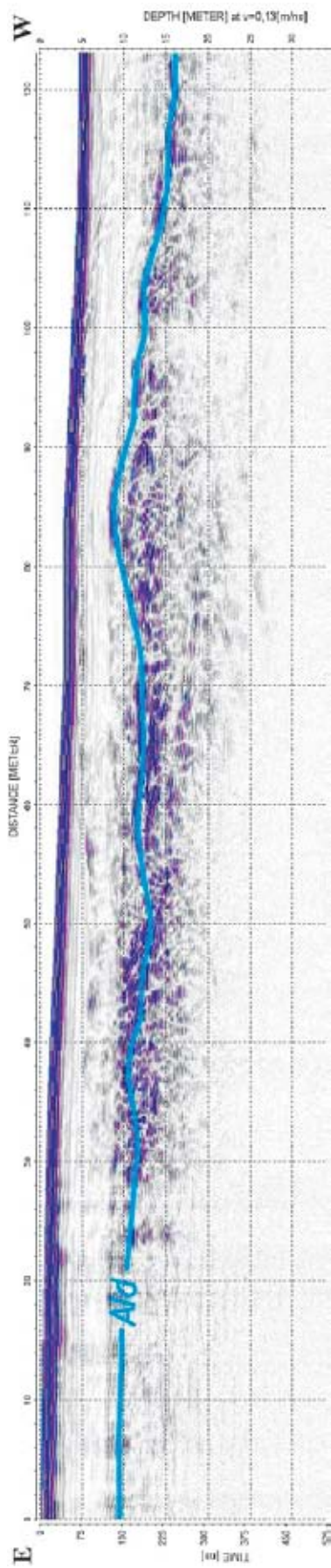


Fig. 14. Echogram badań wykonanych po spągu wyrobiska PS-1a po lewej stronie
 Radagram obtained in the floor of the PS-1a excavation, near the left wall

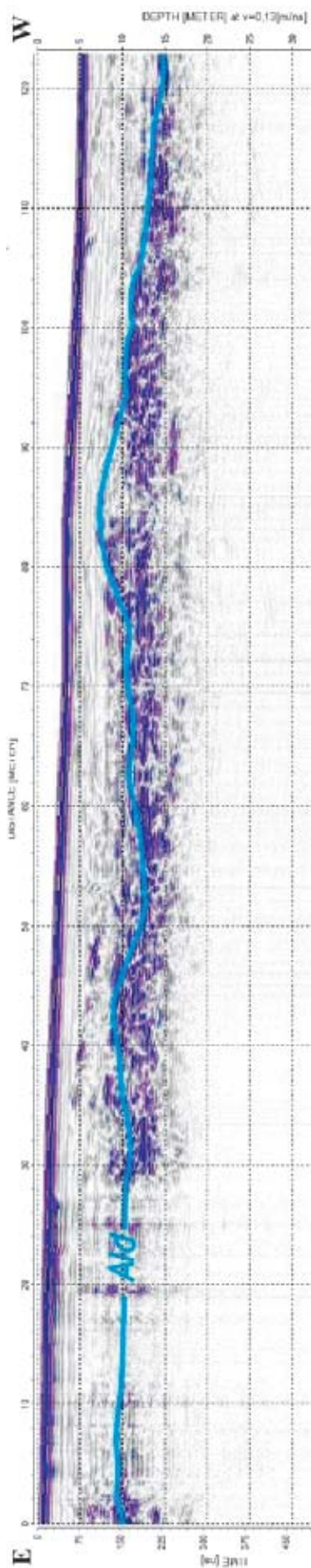


Fig. 15. Echogram badań wykonanych po spągu wyrobiska PS-1a po prawej stronie
 Radagram obtained in the floor of the PS-1a excavation, near the right wall

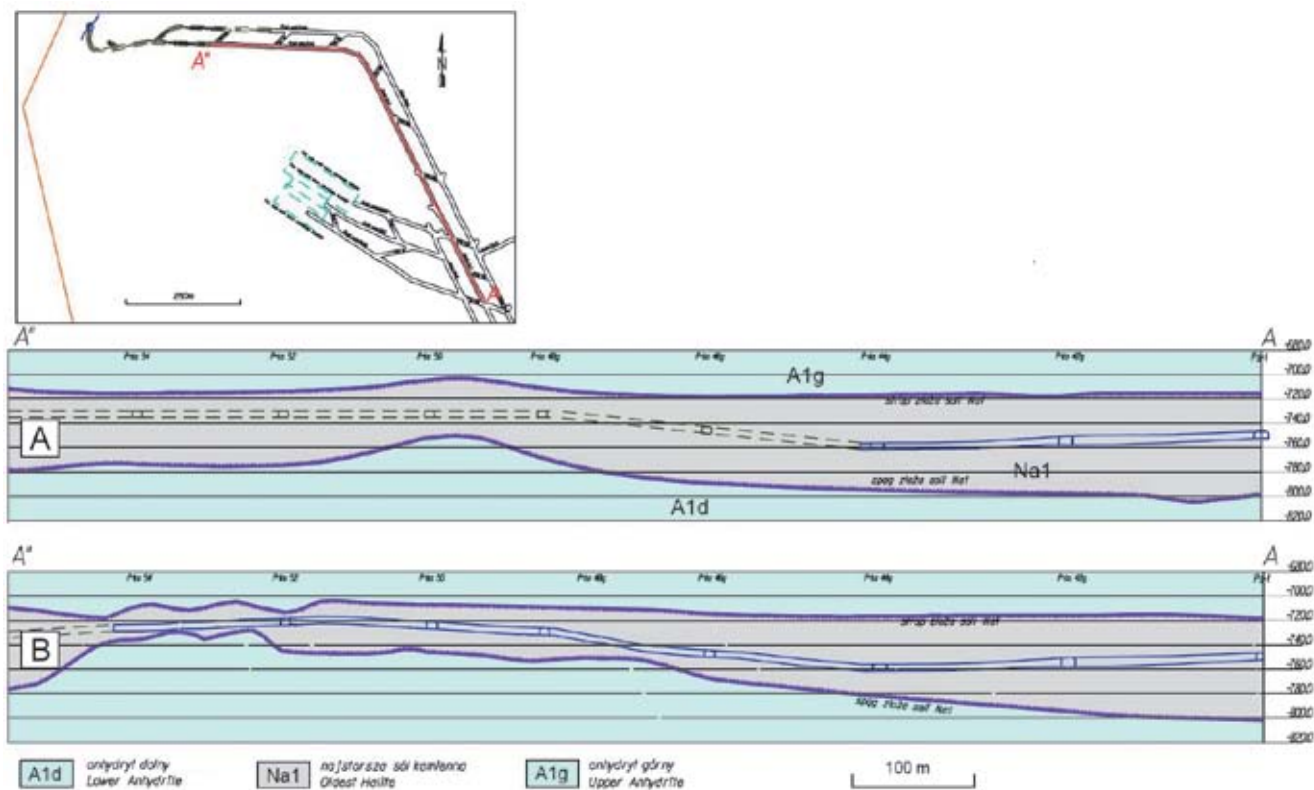


Fig. 16. Przekrój pokładu soli kamiennej (Na1) wykonany na podstawie otworów powierzchniowych i otworów badawczych pionowych (A) oraz przekrój pokładu soli kamiennej wykonany (uaktualniony) na podstawie badań georadarowych (B)

A cross-section across the Na1 rock salt deposits – interpretation based on surface boreholes and vertical research boreholes (A) and (updated) upon the georadar investigations (B)

georadarem powierzchniowym wzdłuż jego spągu, dla potwierdzenia prawidłowości określenia dolnej granicy pokładu. Ponadto profilując wzdłuż spągu wyrobiska przy lewym i prawym jego ociosie, można określić kierunek i kąt poprzecznego względem osi wyrobiska zapadania granic litologicznych. Przedstawiony tok postępowania umożliwia

kompleksowe rozpoznanie budowy geologicznej badanej strefy, zminimalizowanie niebezpieczeństw naruszenia stref zagrożeń naturalnych oraz korelację informacji geologicznych otrzymanych w sąsiednich wyrobiskach.

Podziękowania. Autorzy dziękują za cenne uwagi Kierownikowi Działu Geologicznego Panu Romanowi Jedleckiemu.

LITERATURA

KARCZEWSKI J., 2007 — Zarys metody georadarowej. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
 MATERIAŁY informacyjne firmy MalaGS. www.malagpr.com.au
 SOROKO K., DANIS M., GOLA S., TURKIEWICZ W., 2015 — Propozycja wykorzystania wyrobisk złoża soli w zakresie wentylacji oraz prewencji aerologicznych zagrożeń naturalnych na

poziomie złoża rud miedzi w obszarze „GGP”. *CUPRUM*, 3, 76: 115–129.

SZYBIST A., 1976 — Złoże soli kamiennej w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym. *Prz. Geol.*, 24, 10: 572–576.

WAGNER R., 1994 — Stratygrafia i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. *Prace Państ. Inst. Geol.*, 146: 1–71.

SUMMARY

The pioneering use of georadar tests in salt mining at the Polkowice-Sierszowice Mine has enabled detailing the internal structure of the oldest rock salt deposit. The contrast of electromagnetic parameters between anhydrite

and salt, i.e. the difference of relative permittivity, which is around 1, and the difference of electrical resistivity ρ of approximately $1010 \Omega\text{m}$, allows for the detection of anhydrite bodies of different sizes in the salt mass. The high electri-

cal resistivity ρ of salt also allows for obtaining relatively wide depth ranges: 40 m for 100 MHz antennas and 60 m for 30 MHz antennas, which is perfect for determining the limits of salt deposits, i.e. the roof and floor. For the proper route of the excavations in the area of expected changeable thickness of the salt deposit, an appropriate testing methodology based on the use of a georadar has been determined. First, in the face of the front, a pilot borehole is drilled having the azimuth and inclination angle compatible with the designed excavation site. Based on the borehole, a point feedback is obtained on the geological structure, lithology, petrographic species of the salt and anhydrite partings. Then, after the borehole georadar test has been carried out, an echogram is obtained. Having interpreted it and determined the floor and roof of the deposit, it is possible to

design the course of the excavation site properly, taking into account maintaining an appropriate and safe distance from lithological limits and overriding potential gas risks. Having performed a ditch, surface georadar profiling is conducted along its floor, in order to confirm the validity of determining the lower limit of the deposit. Furthermore, when profiling along the floor of the excavation site at its left hand and right hand sidewalls, the direction and angle of the transverse (with respect to the axis of the excavation site) collapse of lithological limits can be determined. The presented course of action allows for comprehensive recognition of the geological structure of the tested area, minimisation of the risk of infringement of natural hazard zones, and correlation among geological information received from neighbouring excavation sites.