

Lokalizacja i likwidacja pustek podziemnych w masywie skał triasowych narażonych na oddziaływanie deformacyjne ze strony podbierającej eksploatacji złoża karbońskiego

Grzegorz Strozik¹, Rafał Jendruś²



G. Strozik



R. Jendruś

Localization and Liquidation of Underground Voids in Triassic Rock Mass Endangered By Deformations from The Side of Carboniferous Beds Mining. Prz. Geol., 65: 840–847.

A b s t r a c t. The paper presents analysis of geophysical tests conducted in Triassic strata and the roof of the carboniferous formation, course of fill operations, and assessment of their results, for purposes of an investment located in Czeladź, on the post-mining area of mine "Saturn". Electrical resistance survey (ERS) demonstrated presence of numerous low – and high resistive anomalies located both in Triassic and carboniferous strata. ERS data, analysis of geological profiles, fill operations, post-completion ERS, and other observations, allowed evaluation of the ground surface safety in terms of mine subsidence appearance and formulation of recommendations for building designers. Conducted fill operations showed presence of voids, mainly in the eastern part of the investment, which have been filled up in the range of

individual bore holes. Post-completion ERS demonstrated increase of electrical resistivity particularly at places, where it was before filling of voids. This observation indicates reduction of precipitation waters migration, hence slowing or even elimination of erosion and suffusion phenomena, supporting the development of voids, followed by their filling with loose material from the soft overburden rocks. Conducted works should provide sufficient stability of the investment area as well as ensure appropriate conditions for foundation of the building, especially in the context of compactness of the ground.

Keywords: shallow hard coal mining operations, geophysical tests, discontinuous ground deformations, deformation processes on carbonate rocks, filling of underground voids, mine subsidence

Inwestycje budowlane na terenach pogórnich powinny być poprzedzone analizą przeprowadzonej eksploatacji i uwarunkowań górniczo-geologicznych panujących w górotworze. Na ich podstawie można określić w jakim zakresie jest niezbędne przeprowadzenie dogłębnego rozpoznania stanu górotworu i ewentualne wykonanie robót zabezpieczających powierzchnię terenu. Prace te polegają głównie na wypełnianiu pustek podziemnych oraz doszczelnianiu stref rozluźnień i zmierzają do eliminacji możliwości wystąpienia deformacji powierzchni terenu oraz pogorszeniu się własności nośnych podłoża gruntowego projektowanego obiektu.

Przedmiotem prac opisanych w niniejszym artykule, związanych z zabezpieczeniem terenu budowlanego przed wpływami zakończonej eksploatacji górniczej, jest znajdujący się we wschodniej części miasta Czeladź, w pobliżu skrzyżowania dróg krajowych 94 i 86, obszar o rozmiarach 210 × 72 m i powierzchni 15 tys. m², zlokalizowany na obszarze pogórnym byłej kopalni „Saturn”, która zakończyła roboty eksploatacyjne w 1995 r. Teren byłej kopalni pozostaje od tego czasu odwadniany w celu ochrony sąsiadujących kopalń przed zagrożeniem wodnym.

W ramach prac zabezpieczająco-uzdatniających metodą elektrooporową przeprowadzono geofizyczne rozpoznanie terenu inwestycji, w wyniku którego określono lokalizację 16 otworów badawczo-podszkowych. Następnie wykonano w nich analizę profili litologicznych oraz określono strefy zwiększonej porowatości skał i obecność pustek, przeprowadzono roboty podszkowe oraz powykonawcze badania geofizyczne.

Uzyskane wyniki badań geofizycznych oraz przeprowadzone na ich podstawie roboty podszkowe stanowią przykład analizy i likwidacji zagrożenia powierzchni terenu ze strony deformacji w górotworze, które są wywołane podziemną eksploatacją węgla kamiennego pod nadkładem zbudowanym ze związłych utworów wapiennych triasu. Zastosowanie metody elektrooporowej umożliwiło dokładne rozpoznanie struktury górotworu w rejonie granicy warstw triasu i karbonu, także pod kątem panujących w niej stosunków wodnych.

Celem przeprowadzonych badań geofizycznych było określenie występowania i lokalizacji pustek podziemnych w utworach karbonu, triasu i czwartorzędu, które mogłyby stwarzać zagrożenie powstawaniem deformacji nieciągłych na powierzchni rozpatrywanego terenu.

Celem artykułu jest przedstawienie możliwości lokalizacji i likwidacji pustek podziemnych w warunkach, w których rozwój zagrożenia związanego z występowaniem nieciągłych deformacji powierzchni terenu nad strefami eksploatacji węgla kamiennego w warstwach karbonu jest silnie uwarunkowany stosunkami wodnymi panującymi w wyżej zalegających utworach triasowych.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA DEFORMACJI GÓROTWORU WYWOŁYWANYCH PRZEZ PODZIEMNĄ EKSPLOATACJĘ WĘGLA KAMIENNEGO

W warunkach geologiczno-górnich Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) skutki poeksploatacyjne dla

¹ Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska w Gliwicach, ul. Akademicka 22, 44-100 Gliwice; grzegorz.strozik@polsl.pl, rafal.jendrus@polsl.pl.

powierzchni terenu można podzielić ogólnie na trzy rodzaje, w zależności od głębokości prowadzonej eksploatacji, która może być:

– „głęboka” prowadzona na głębokości poniżej ok. 300 m, w jej efekcie na powierzchni terenu występują niemal wyłącznie deformacje ciągłe w formie w pełni wykształconych niecek osiadania, których prognozowane parametry geometryczne można wyznaczyć za pomocą analityczno-empirycznych metod obliczeniowych, najczęściej opartych na teorii Budryka-Knothego (Chudek, 2010);

– „płytką” – uważa się roboty górnicze prowadzone do głębokości wynoszącej w przybliżeniu 80–100 m. W ich skutku powstają deformacje nieciągłe typu powierzchniowego (zapadliska, osuwiska) lub liniowego (szczeliny, progi terenowe). Mogą także powstawać deformacje ciągłe o parametrach geometrycznych najwyższych kategorii terenów górniczych tj. IV i V (Popiołek, Pilecki, 2005; Pilecki, Popiołek, 2010);

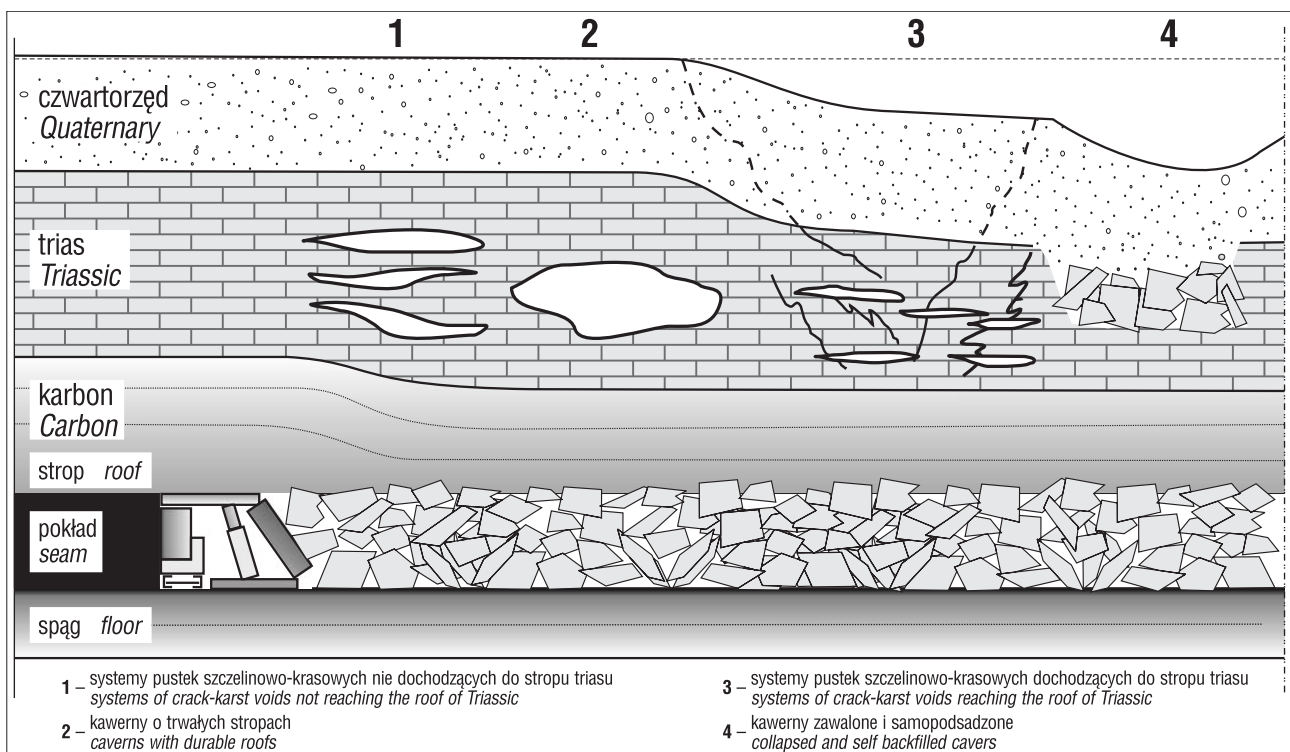
– prowadzona na głębokościach zawierających się pomiędzy wyżej wymienionymi zakresami, tj. ok. 100–300 m. Powstające w jej wyniku deformacje mogą mieć charakter nie w pełni wykształconych niecek obniżeniowych, którym mogą towarzyszyć deformacje nieciągłe na powierzchni terenu, o mniejszej intensywności niż w przypadku eksploatacji płytkiej (Strozik, 2015).

W typowych warunkach panujących na obszarach górniczych czynnych kopalń, w których nad karbonem zalegają słabo związane i luźne warstwy nadkładu, deformacje pod wpływem stosunkowo dużego ciśnienia górotworu przemieszczają się w sposób ciągły ku powierzchni ziemi, nie pozostawiając w nim nieciągłości (pustek). W przypadku eksploatacji płytkiej ciężar nadkładu może być niewystarczający do wywołania zawału pustek poeksploatacyjnych, w wyniku czego zagrożenie wystąpieniem nieciągłych deformacji powierzchni, niezależnie od czasu od zakoń-

czenia eksploatacji, nie maleje. O zdolności skał nadkładu do „zatrzymania” przemieszczających się ku powierzchni ziemi pustek w dużym stopniu decyduje wytrzymałość ośrodka skalnego na rozciąganie. Skały węglanowe triasu w północnej części GZW są zdolne do utrzymywania w stanie niepodszczepionym wyrobisk górniczych i pustek, o czym świadczą liczne pozostałości po eksploatacji rud metali (Strzałkowski, 2015).

Liniowe przemieszczenia górotworu karbońskiego, występujące na skutek eksploatacji podbierającej względem masywu węglanowego, po osiągnięciu spągu triasu, mogą się zmieniać w przemieszczenia nieciągłe, które zatrzymują się w obrębie formacji skalnej lub wywołują deformacje powierzchni terenu, o zróżnicowanych mechanizmach powstawania (Pilecki, Popiołek, 2010).

Typowe przykłady deformacji nieciągłych zachodzących w warstwie skał węglanowych o znacznej miąższości, poddanej eksploatacji podbierającej, przedstawiono schematycznie na rycinie 1 (Strozik, 2015). W wariancie 1 obniżenie spągu triasu na osiadającym stropie karbonu powoduje powstanie wiązki stref rozluźnień i płaskich, soczewkowatych pustek, które z uwagi na brak spękań ponad strefą ich występowania nie powodują obniżenia powierzchni terenu. Gdy nad takim zespołem pustek powstają szczeliny typu naprężeniowego lub krasowego, może dojść do zaciśnięcia pustek lub ich podszczepienia w procesie sufozyjnego przemieszczania się ziaren luźnych skał nadkładu przez hydraulicznie drożne drogi spływu wód opadowych. Analogicznie może przebiegać proces kumulowania się przestrzeni powstających w wyniku przemieszczania się skał górotworu w formie kawern o znacznych rozmiarach (wariant 2 ryc. 1). Wymywanie ziaren materiału wywołuje rozłożony w czasie proces powstawania deformacji powierzchni terenu, które przybierają formy niecek, płytkich lejów, względnie także deformacji nieciągłych



Ryc. 1. Główne rodzaje deformacji zachodzących w grubej warstwie węglanowych skał zwieszonych nad strefą eksploatacji podbierającej
Fig. 1. Main forms of deformations occurring in a thick hard carbonate rocks strata in an area undermined by deep mining operations

o stosunkowo niewielkich rozmiarach, co przedstawiono w wariancie 3 na rycinie 1.

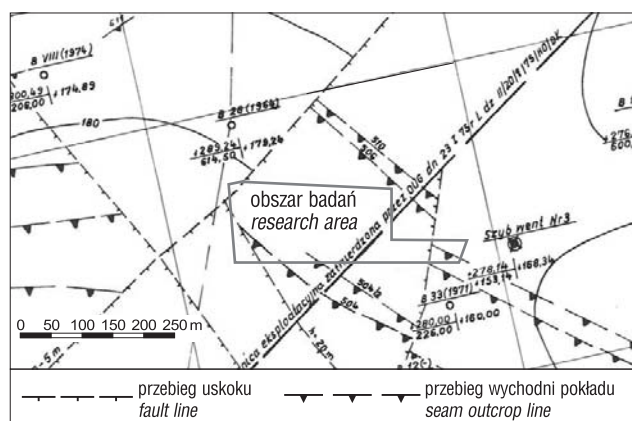
Wraz z upływem czasu mogą one stopniowo wypełniać się luźnym drobnopiękistym materiałem niesionym przez wody gruntowe lub ulec nagłemu i natychmiastowemu zawałowi skał stopowych, co wywołuje występowanie znacznych deformacji nieciągłych w formie zapadłisk, towarzyszącym im szczelin i progów terenowych, względnie innych rodzajów deformacji (wariant 4 na ryc. 1).

Należy dodać, że czas trwania procesu deformacyjnego od wybrania pustki do obniżenia powierzchni terenu wynosi w typowych warunkach geologiczno-górnicych przeciętnie 3–8 lat, w zależności od głębokości eksploatacji (Strzałkowski, 2014). Natomiast skutki eksploatacji pokładów zalegających do głębokości 100 m, których eksploatacja została zakończona w połowie XX w., wciąż stwarzają zagrożenia dla obiektów budowlanych położonych na terenach pogórnicych (Stroziak i in., 2016).

Podstawowym sposobem uzyskania naturalnego rozkładu naprężeń w górotworze i uniemożliwienia przesunięć masowych, w tym także odnoszących się do płytkich pustek podziemnych, jest ich wypełnienie za pomocą odpowiednio dobranych materiałów, zwłaszcza w postaci mieszanin wody i drobnopiękistych materiałów o właściwościach wiążących (Palarski, Stroziak, 2013; Palarski i in., 2014).

WARUNKI GEOLOGICZNE I TEKTONICZNE OBSZARU BADAŃ

Warstwy nadkładu są reprezentowane przez czwartorzędowe pyły piaszczyste i gliny ilaste, pod którymi występują mezozoiczne lite skały węglanowe, w postaci wapieni, dolomitów i margli. Strop formacji triasowej tworzy warstwa zwietrzliny i okruszków skał wapiennych o miąższości do ok. 2,5 m. Strop karbonu zalega na głębokości ok. 100 m. W warstwach karbońskich występują piaskowce i łupki ilaste, przewarstwione pokładami węgla warstw siodłowych, rudzkich i jakłowickich. Utwory karbońskie zalegają do granic rozpoznania, co najmniej do głębokości 1200 m. Szczegółowy profil geologiczny warstw do głębokości 35 m uzyskano podczas robót wiertniczych badawczo-podradkowych (Sprawozdanie..., 2015b) oraz badań geotechnicznych (Sprawozdanych dzięki wykonaniu otworów wierconych do stropu skały litej (Dokumentacja..., 2015a).



Ryc. 2. Fragment mapy górniczej stropu karbonu w rejonie omawianej inwestycji (Opinia..., 2015)

Fig. 2. Part of a mining map of the Carbon roof in the investment area (Opinia..., 2015)

Pod względem tektonicznym w stropie karbonu zaznaczają się wychodnie uskoku o zrzutach do 100 m. Na rycinie 2 przedstawiono położenie wychodni pokładów i uskoku na powierzchni stropu karbonu w rejonie rozpatrywanego obszaru oraz ukształtowanie jego powierzchni.

ZAKRES DOKONANEJ EKSPLOATACJI

Udokumentowane złoża kopalin użytecznych obejmują złożo węgla kamiennego do głębokości 1000 m, w którym eksploatację prowadzono łącznie w 14 pokładach. Przedmiotem eksploatacji było także złożo kopaliny towarzyszącej – montmorylonitu (Opinia..., 2015).

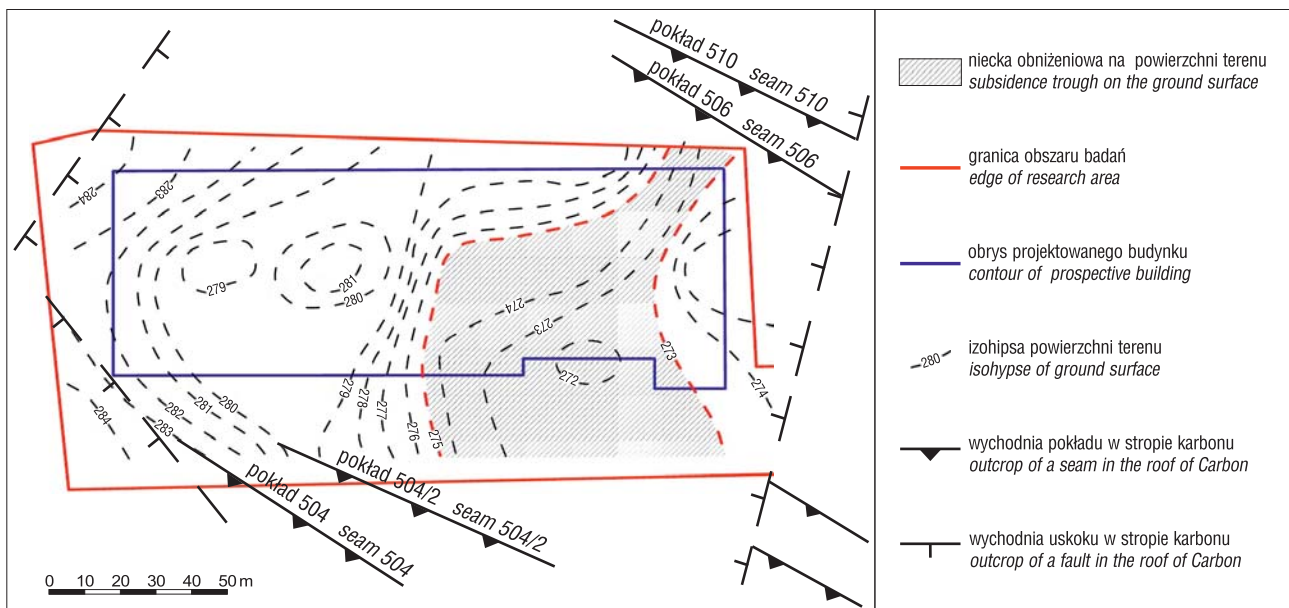
Bezpośrednio pod obszarem projektowanej inwestycji w latach 1951–1953 prowadzono eksploatację pokładów 506 i 510 na głębokości ok. 120–160 m, przy łącznej miąższości warstwy wybranej wynoszącej 5,8 m. W ostatniej fazie istnienia kopalni, tj. w latach 1993–1995, pod obszarem badań prowadzono roboty górnicze w pokładzie 816 na głębokości od 580 do 650 m o miąższości ok. 1,4–1,5 m (Informacja..., 2015).

Rozpatrywany teren znajdował się także w zasięgu wpływów deformacyjnych eksploatacji prowadzonej w pokładzie 501 (miąższość 3,5–4,3 m, na głębokości 150 m, w odległości ok. 140 m w kierunku S–W) oraz 615 (głębokość 230–320 m, grubość warstwy wybranej ok. 1,5 m, w odległości 220 m w kierunkach S i W od terenu badań (Informacja..., 2015).

Teren planowanej inwestycji znajduje się w centralnej części zniesionego obszaru górniczego „Czeladź”, pomiędzy szybami „Korneliusz” i „Nr 3”. Były to jedyne szyby udostępniające bezpośrednio północno-wschodnią część obszaru górniczego „Czeladź”. Szyb „Nr 3” zgłębiono do głębokości 125 m w 1931 r. „Korneliusz” został wybudowany w latach 30. XX w. Oba szyby były stosunkowo płytkie (do stropu karbonu), dlatego po wyczerpaniu udostępnianych przez nie niewielkich partii zasobów zostały zlikwidowane w 1966 r. (Opinia..., 2015). Na rycinie 2 przedstawiono fragment mapy górniczej stropu karbonu w rejonie planowanej inwestycji. Wskazuje ona na małe odległości między pokładami 505 i 510 oraz 504 i 504b, których eksploatacja przypuszczalnie była przeprowadzona w regularnych polach wyznaczonych liniami uskoku.

Obecnie na terenie projektowanej inwestycji nie stwierdzono występowania nieciągłych deformacji powierzchni terenu. W części centralnej są widoczne dwie płytkie niecki obniżeniowe, natomiast wschodni fragment powierzchni tworzy rozległą nieckę obniżeniową (ryc. 3), wyraźnie zaznaczającą się na powierzchni terenu, przy czym z uwagi na okres czasu jaki upłynął od zakończenia eksploatacji, wpływy eksploatacyjne w rozumieniu masowych ruchów górotworu uległy wygaszeniu.

Analizując zakres czasowy i przestrzenny dokonanej eksploatacji górniczej, można stwierdzić, że głównym źródłem zagrożeń dla powierzchni terenu są nieciągłości (pustki, szczeliny bądź rozluźnienia) w górotworze, które pozostały po najstarszej eksploatacji przeprowadzonej na głębokości 120–160 m p.p.t. Z kolei późniejsza eksploatacja głęboko zalegającego pokładu 816 powinna doprowadzić do reaktywacji utrzymujących się jeszcze pustek w górotworze i spowodować ich zaciśnięcie. Eksploatacja przeprowadzona w otoczeniu rozpatrywanego obszaru nie powinna mieć wpływu na stan deformacji jego podłoża.



Ryc. 3. Wysokość powierzchni terenu oraz wychodnie pokładów i uskoku w stropie karbonu w obrębie obszaru inwestycyjnego na terenie pogórnym kopalni „Saturn” w Czeladzi (Dokumentacja..., 2015b)

Fig. 3. Elevation of the ground surface and outcrops of faults and coal seams in the Carbon roof within the investment on post-mining area of coal mine “Saturn” in Czeladź (Dokumentacja..., 2015b)

CHARAKTERYSTYKA ELEKTROOPOROWEJ METODY BADAŃ WYSTĘPOWANIA NIECIĄGŁOŚCI W GÓROTWORZE

Badania geofizyczne zostały przeprowadzone metodą profilowania elektrooporowego w układzie średniego gradientu (Dokumentacja..., 2015b).

Metoda ta bazuje na zróżnicowaniu oporności pomiędzy ciągłym ośrodkiem skalnym a zaburzeniami jego ciągłości, takimi jak kawerny, struktury o zwiększonej porowatości, strefy spękań i rozluźnień, uskoki itp., przy czym znaczny wpływ na rozkład oporności ośrodka skalnego ma zawodnienie górotworu, a w szczególności pustek podziemnych.

Wszelkie zniekształcenia oporności ośrodka skalnego, których wartość przekracza poziom tła, są nazywane anomaliami. Ich intensywność jest uzależniona od wielkości i stopnia zaburzenia lokalnej nieciągłości ośrodka. Strefy niskooporowe świadczą o obecności w górotworze ośrodków zawodnionych, kurzawek, czy nawet zbiorników wodnych. Obszary charakteryzujące się wysoką opornością reprezentują natomiast miejsca występowania pustek stref rozgęszczenia oraz rozluźnienia we względnie suchym stanie górotworu, ale także niespękaną, lite skały nieprzepuszczalne.

Układ pomiarowy wytwarza w podłożu sztuczne pole elektryczne i umożliwia pomiar jego napięcia na określonym odcinku na powierzchni terenu. Wyniki pomiarów stanowią podstawę do obliczenia oporności pozornej podłoża gruntowego. Wybór zasięgu głębokościowego (zastosowanie określonego układu pomiarowego) jest uwarunkowany lokalnymi warunkami geologiczno-górnymi. Zasięg głębokościowy metody elektrooporowej jest zależny od odległości między elektrodami zasilającymi (w metodach geoelektrycznych oznaczonych jako elektrody prądowe A i B) oraz litologii terenu badań. Parametrem

mierzonym jest różnica potencjałów między elektrodami pomiarowymi (oznaczone literami M i N).

Do realizacji pomiarów na obszarze planowanej inwestycji wykorzystano dwa rozstawy pomiarowe elektrod prądowych o długościach $AB = 270$ i 540 m, w siatce punktów pomiarowych o rozmiarze 5 m (Dokumentacja..., 2015b). Pomiary oporności podłoża przy rozstawie elektrod prądowych $AB = 270$ m obejmują głębokość do ok. $65\text{--}70$ m. W rozpatrywanym przypadku pomierzone różnice oporności ośrodka skalnego dotyczą nieciągłości występujących w warstwach skał węglanowych. Drugi, większy rozstaw pomiarowy $AB = 540$ m umożliwił zobrazowanie zmian oporności górotworu do głębokości wynoszącej ok. $125\text{--}135$ m. Na jego podstawie dokonano identyfikacji stref o zróżnicowanej oporności, będących skutkiem robót górniczych w pokładach 506 i 510, zalegających na głębokości $120\text{--}160$ m i charakteryzujących się znaczną miąższością wybranej warstwy złoża (Dokumentacja..., 2015b).

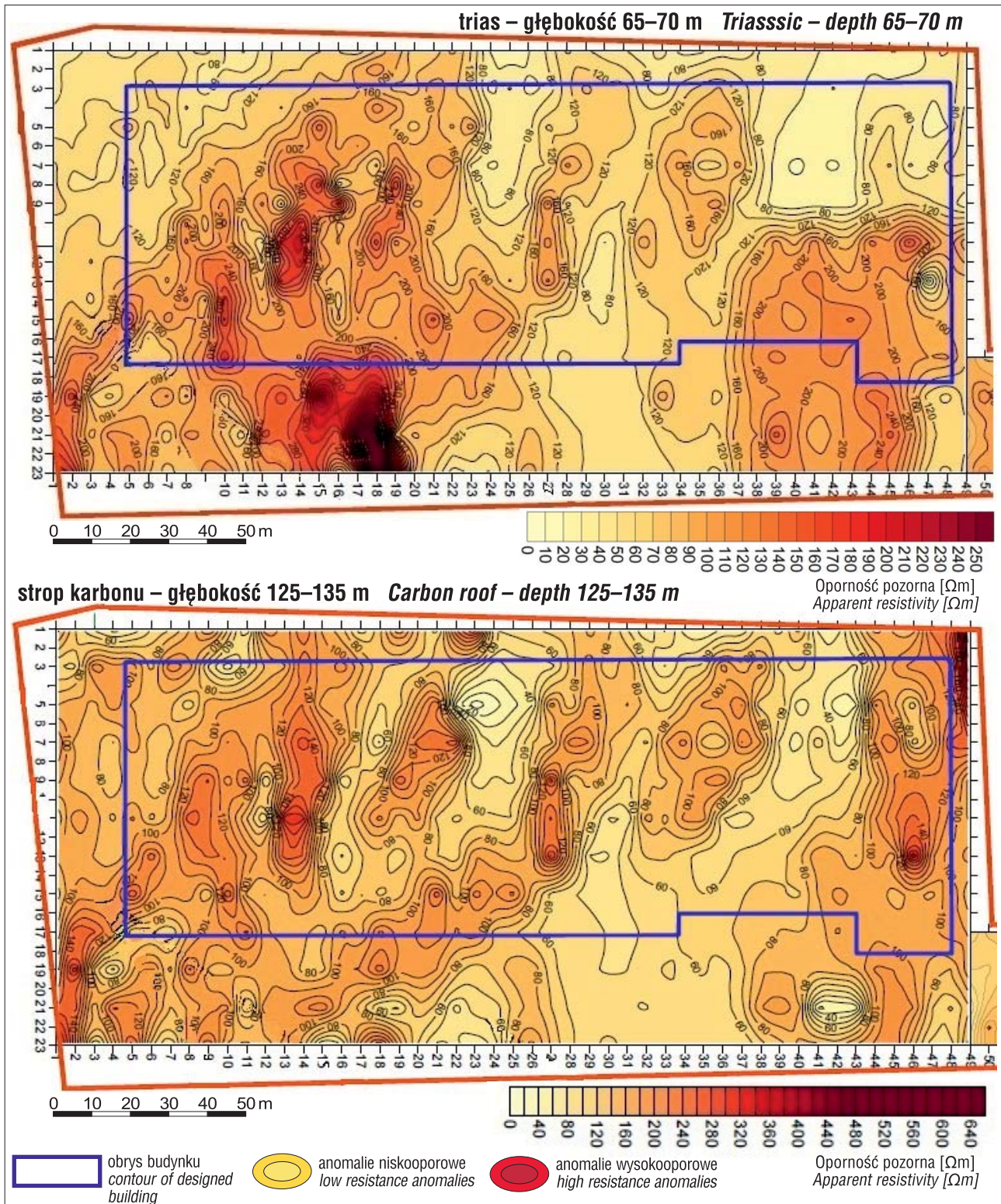
OCENA WYNIKÓW BADAŃ ELEKTROOPOROWYCH

Mapy rozkładu elektrooporności pozornej górotworu na obszarze badań przedstawiono na rycinie 4. W warstwach triasu występują wyraźne anomalie wysokooporowe w zachodniej części terenu badań, ze strefą o szczególnie wysokiej oporności leżącą przy południowym jego skraju, nieco poza obrysem projektowanego obiektu. Widoczne strefy anomalii wysokooporowych zaobserwowano zarówno w skałach wapiennych na głębokości $25\text{--}30$ m, jak i w karbonie na głębokości $125\text{--}135$ m (ryc. 4). Układają się one w kształt pasów o w przybliżeniu południkowym przebiegu, których szerokość wynosi przeciętnie od ok. 10 do kilkunastu metrów. Układ stref anomalnych wydaje się odzwierciedlać przebieg eksploatacji niżej leżącego pokładu węgla przy zastosowaniu systemu zabierkowego,

który był powszechnie stosowany w kopalniach węgla kamiennego aż do lat 50. XX w.

W południowo-wschodniej części mapy elektrooporności warstwy triasu zaznacza się prostokątny obszar o regularnych krawędziach i obniżonej, stosunkowo równomiernej elektrooporności pozornej na całej powierzchni,

przypuszczalnie reprezentujący zroby pozostałe po eksploatacji niżej leżącego pokładu węgla (ryc. 4). Stosunkowo równy rozkład oporności na jego powierzchni może być wynikiem eksploatacji metodą ubierkową, bez pozostawiania filarów w złożu. Niższe i bardziej zróżnicowane wartości elektrooporności w stropie karbonu południowo-



Ryc. 4. Rozkład anomalii elektrooporowych w warstwach triasu (głębokość 25–30 m) i karbonu (głębokość 125–135 m) na obszarze projektowanej inwestycji (Dokumentacja..., 2015b)

Fig. 4. Distribution of electro-resistive anomalies in Triassic (depth 25–30 m) and Carboniferous strata (depth 125–135 m) on the area of planned investment (Dokumentacja..., 2015b)

-wschodniej części obszaru badań mogą świadczyć o zaciśnięciu warstw karbońskich i przeniesieniu pustek do warstw triasowych.

Eksploatacja ta skutkowała także wystąpieniem nieckii osiadania na powierzchni terenu (por. ryc. 3 i 4), co z kolei świadczy o tym, że pustki w trasie wywołane eksploatacją w pokładzie 506 i 510 zostały częściowo podsadzone luźnym materiałem z przypowierzchniowej warstwy utworów drobnoziarnistych. Można to uzasadnić zróżnicowaniem właściwości wytrzymałościowych skał triasowych i karbońskich. Skały o mniejszej wytrzymałości na rozciąganie, bardziej kruche i podatne na podział na ulegające przemieszczeniom bryły (gruzowisko zawałowe), stanowiące bezpośredni strop eksploatowanych pokładów aż do spągu triasu, łatwo uległy deformacjom i doprowadziły do częściowego zaciśnięcia wyrobisk i pustek poeksploatacyjnych. Dalsze przemieszczanie się pustek w górotworze ku powierzchni terenu zostało następnie zahamowane w zwężonych skałach węglanowych. Powstały w nich trwałe pustki i rozluźnienia, których obrys pozostał zgodny z pierwotnym rozkładem wyrobisk w niżej leżących pokładach. Taki przebieg zjawisk deformacyjnych wpływa również znacząco na lokalne warunki hydrogeologiczne. Warstwy triasowe wykazują większe zawodnienie niż leżące poniżej utwory karbońskie, co sugeruje utrzymywanie się w nich odizolowanego poziomu wód podziemnych, w przeciwieństwie do warstw karbońskich, które charakteryzują się wyższą elektroopornością.

Porównując mapy rozkładu elektrooporności wykonane dla głębokości 25–30 m i 125–135 m, można stwierdzić, że anomalie wysokooporowe są wyższe co do wartości i bardziej regularnie rozłożone w węglanowym nadkładzie triasu niż na głębokości, na której prowadzono eksploatację węgla kamiennego.

Należy także zwrócić uwagę na trzy wyraźnie widoczne strefy anomalii niskooporowych występujące na poziomie stropu karbonu, zlokalizowane w pobliżu południowo-wschodniej granicy terenu badań i przy granicy północnej w pobliżu osi SN miejsca badań. Tworzą one obszary o bardzo małej powierzchni i dużym gradiencie. Mogą to być miejsca spływu wód podziemnych do głębszych warstw górotworu, utworzone np. przez niezlikwidowane szybiki, otwory wiertnicze lub pęknięcia skał stropowych.

Występowanie silnie zawodnionych obszarów na mapie elektrooporności pozornej triasu wskazuje, że skały węglanowe są na tyle słabo przepuszczalne, że w znacznym stopniu ograniczają spływ wód podziemnych do warstw karbonu. Z kolei silny drenaż wód podziemnych przez warstwy karbońskie należy prawdopodobnie przypisać odwadnianiu w obszarze pogórniczego kopalni „Saturn” prowadzonym przez Centralny Zakład Odwadniania Kopalń (Powstanie..., 2015). Spływowi wód do głębiej leżących poziomów eksploatacyjnych byłej kopalni „Saturn” sprzyja obecność uskoków i zrobów wyeksploatowanych pokładów grupy siódłowej.

PRACE WIERTNICZE

Na podstawie wyników badań elektrooporowych wywiercono 16 otworów badawczo-podsadzkowych, zlokalizowanych w punktach charakteryzujących się skrajnymi wartościami elektrooporności. Do spągu warstw utworów luźnych (35 m) otwory wykonywano koronką

o średnicy 200 mm, a następnie wiercenie prowadzono metodą mechaniczno-obrotową na płuczkę wodną bezrdzeniowo, świdrem gryzowym o średnicy 137 mm (Sprawozdanie..., 2015). Po przejściu przez zwietrzelinę skalną i osiągnięciu skały litej w otworach posadawiano rury okładzinowe i uszczelniano je przez zagipsowanie. Rozmieszczenie otworów badawczo-podsadzkowych przedstawiono na rycinie 5.

W profilu geologicznym obszaru badań stwierdzono obecność luźnych utworów czwartorzędowych o miąższości ok. 0,4–4,9 m. Poniżej nich stwierdzono zaleganie warstwy zwietrzliny i rumoszu skalnego, który stanowi strop warstw triasowych. Miąższość tej warstwy wynosi przeciętnie ok. 2,5 m. Poniżej, aż do dna otworu występują lite skały węglanowe

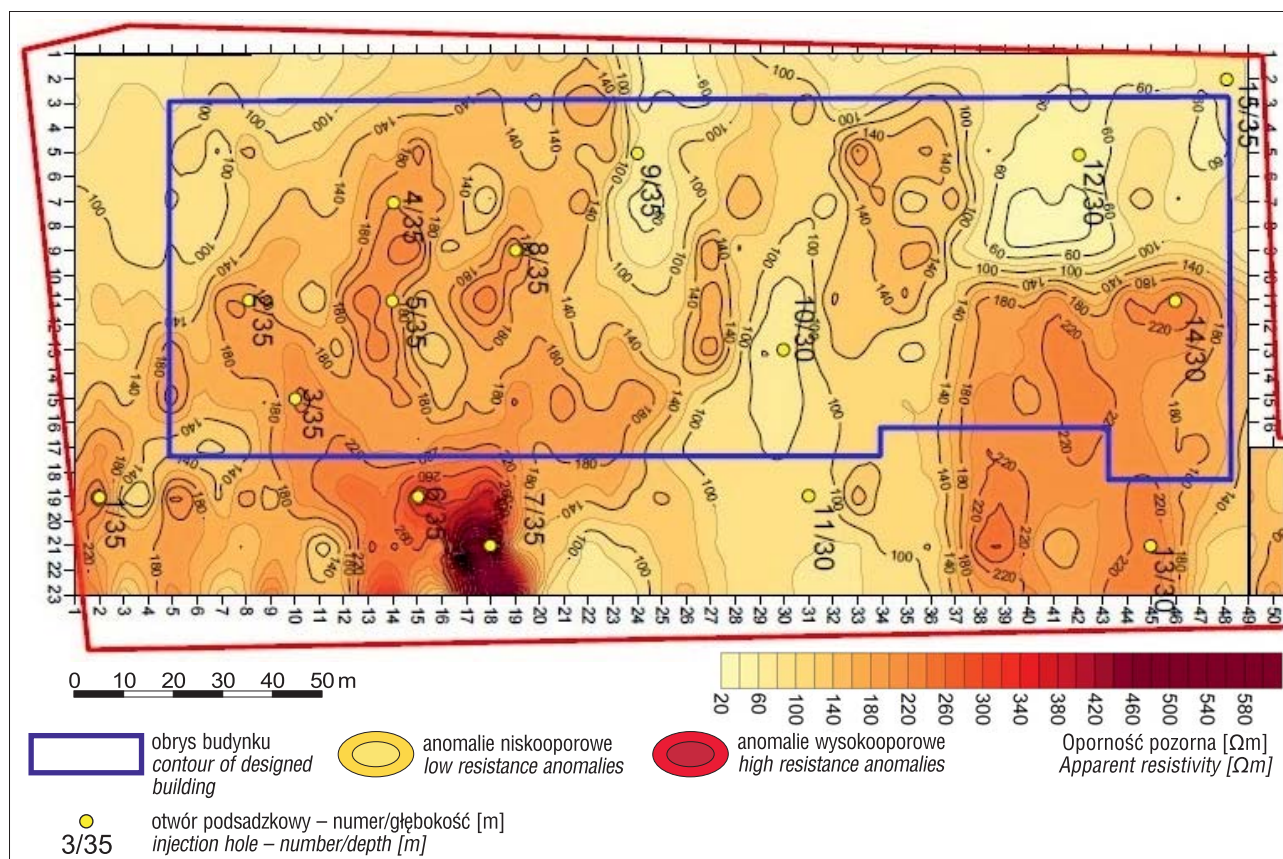
We wszystkich otworach występowały odizolowane od siebie, kilkudziesięciocentymetrowej miąższości strefy zaniku płuczki, napotymane od stropu triasu aż do dna otworów, bez widocznego związku z rodzajem przewiercanej skały. Stwierdzono, że występowanie stref rozluźnień i wypływu płuczki wiertniczej tylko w niewielkim stopniu koreluje się z rozmieszczeniem stref najbardziej intensywnych anomalii nisko- i wysokooporowych uwidocznionych na mapie rozkładu elektrooporności podłoża obszaru badań na głębokości 25–30 m (por. ryc. 4 i 5).

PRACE PODSADZKOWE

Prace zabezpieczające powierzchnię terenu przed oddziaływaniem pustek podziemnych skoncentrowano na doszczelnieniu i zestaleniu ośrodka poprzez wypełnienie pustek mieszaniną wody i spoiwa mineralnego handlowego, sporządzonego na bazie cementu i popiołów lotnych, o ustalonych parametrach hydraulicznych i przebiegu wiązania (Plewa i in., 2011).

Mieszaninę wypełniającą (podsadzkową) wprowadzano do pustek metodą grawitacyjną przez wykonane wcześniej otwory wiertnicze. Alternatywą dla grawitacyjnego wypełniania pustek jest iniekcja ciśnieniowa. Pozwala ona na uzyskanie większej szczelności wypełnienia przez wzrost zasięgu rozprzyszczenia mieszaniny wypełniającej. Jej wadą jest natomiast możliwość szczelinowania wyżej leżących warstw skalnych, włącznie z wypływami mieszaniny na powierzchnię, z uwagi na niskie ciśnienie górotworu, które na głębokości 35 m nie przekracza 1 MPa (Strozik i in., 2016). W wyniku szczelinowania można uzyskać efekt odwrotny do zamierzonego, tj. wzrost wodoprzepuszczalności górotworu, pogorszenie właściwości mechanicznych i w końcu zwiększenie jego podatności na deformacje, dlatego też zrezygnowano z przeprowadzenia wypełnienia pustek metodą ciśnieniową.

Łączna chłonność wszystkich otworów wyniosła ok. 107 m³ mieszaniny. Objętości mieszaniny wypełniającej wchłonięte przez poszczególne otwory przedstawiono w tabeli 1. Rozkład elektrooporności warstw triasu na głębokości do ok. 25–30 m po przeprowadzeniu prac podsadzkowych, wraz z lokalizacją otworów wiertniczych, zaprezentowano na ryc. 5. Po zakończeniu prac podsadzkowych usunięto w całości rury okładzinowe oraz zlikwidowano i zacementowano otwory wiertnicze mleczkiem cementowym do poziomu ok. 1,2 m p.p.t., a do powierzchni terenu wypełniono litologicznie zgodnym urobkiem z wiercenia (Sprawozdanie..., 2015).



Ryc. 5. Rozkład anomalii elektrooporności pozornej w zakresie głębokości do 25–35 m po przeprowadzeniu robót podsadzkowych (Sprawozdanie..., 2015)

Fig. 5. Distribution of apparent electro-resistivity anomalies in the range of depth 25–35 m after backfill works (Sprawozdanie..., 2015)

Tab. 1. Objętości mieszanki wypełniającej wchłonięte przez otwory podsadzkowe podczas prac stabilizujących teren inwestycji na obszarze pogórnym kopalni „Saturn” w Czeladzi (Sprawozdanie..., 2015)

Table 1. Volumes of fill mixtures absorbed by backfill boreholes during land stabilization works of the investment area located on post-mining area of coal mine “Saturn” in Czeladź (Sprawozdanie..., 2015)

Numer otworu Borehole No.	Głębokość całkowitego zaniku płuczki Depth of the complete disappearance of the drilling fluid [m]	Objętość wtłoczonej mieszanki Volume of injected mixture [m ³]
1	16,6	–
2	–	–
3	–	–
4	–	–
5	16,6	12,0
6	20,4	–
7	13,6	–
8	–	–
9	–	–
10	9,8	25,3
11	10,6	–
12	9,2	30,1
13	–	–
14	–	–
15	4,5	35,8
16	–	–

ANALIZA REZULTATÓW PRAC PODSADZKOWYCH

Objętość wtłoczonej mieszanki w porównaniu z liczbą otworów wiertniczych, nawierconych stref pustek i rozluźnień oraz wynikami badań geofizycznych okazała się stosunkowo niewielka w porównaniu do wyników szeregu innych prac wypełniająco-zabezpieczających prowadzonych na terenach występowania płytkich pustek podziemnych w GZW w podobnych warunkach geologiczno-górniczych (Stroziak i in., 2016).

Niemal wszystkie otwory zlokalizowane w strefach o wysokiej elektrooporności pozornej (ryc. 4) w ogóle nie wykazały chłonności. Natomiast te, które wchłonęły mieszankę podsadzkową – z wyjątkiem jednego – znajdują się we wschodniej części terenu inwestycji, w strefach najniższej elektrooporności pozornej (zawodzonych), przy czym strefy chłonne sąsiadują z obszarami charakteryzującymi się całkowitym brakiem chłonności (por. tab. 1 i ryc. 5). Może to świadczyć o tym, że pustki o wyższej elektrooporności pozornej istnieją dzięki izolacji od systemu spękań biorących udział przepływie wód podziemnych. Przez trzy otwory znajdujące się we wschodniej części obszaru badań wtłoczono łącznie 90,7 m³ mieszanki wypełniającej.

Objętość wprowadzonej do górotworu mieszanki może być związana zarówno z niewielką kubaturą pustek znajdujących się w zasięgu rozplwy mieszanki z pojedynczego otworu, jak i niewielkich wymiarów pustek rozumianych jako przewody hydrauliczne dla przepływu mieszanki podsadzkowej w środowisku skalnym. Za kryterium umownego podziału rozmiaru pustek przyjęto ich

wymiary, przy których mogą być one penetrowane i wypełniane przez mieszaniny podsadzkowe, znacznie bardziej lekko niż woda czy płuczka wiertnicza. (Strozik i in., 2016).

Porównując rozkład elektrooporności pozornej na mapie triasu na głębokości do 25–30 m przed i po przeprowadzeniu robót podsadzkowych, można stwierdzić, że podsadzenie pustek położonych w zasięgu otworów nr 10, 12 i 15, tj. położonych we wschodniej części terenu inwestycji, spowodowały niewielki wzrost elektrooporności pozornej o ok. 100–120 m, równomiernie w całej wschodniej części rozpatrywanego obszaru. Podsadzenie pustek w rejonie otworu numer 5, który wchłonął jedynie 12 m³ mieszaniny, doprowadziło do znacznego wzrostu oporności pozornej w całym zachodnim obszarze anomalii wysokooporowych, obejmującym otwory wiertnicze od 2 do 8. Uwagę zwraca fakt, że podsadzanie pustek przez otwór nr 5 spowodowało wzrost oporności pozornej w promieniu wynoszącym ok. 40 m i obejmującym inne otwory, które nie wykazały chłonności. Podsadzeniu przypuszczalnie mogły ulec pustki tworzące drogi spływu wód podziemnych w rejonie otworu nr 5, ograniczając ich przepływ, zwłaszcza w kierunku południowym, gdzie może następować spływ wód do warstw leżących niżej.

PODSUMOWANIE

Z punktu widzenia budownictwa na terenach pogórnich jest istotna eliminacja możliwości wystąpienia deformacji powierzchni terenu oraz powstawania rozluźnień w podłożu gruntowym, które wpływają niekorzystnie na jego nośność.

Analiza dokonanej eksploatacji górniczej, wyników badań geofizycznych oraz informacji uzyskanych podczas robót wiertniczych wykazała, że zachodnia część terenu przyszłej inwestycji nie jest narażona na zagrożenie występowaniem deformacji nieciągłych typu zapadliskowego, związanych z załamywaniem się stropów skalnych i samopodsadzaniem pustek o znacznych rozmiarach (kawern w skałach węglanowych i wyrobisk w karbonie). W części wschodniej obszaru badań mogą lokalnie występować pustki o większych rozmiarach, które w trzech otworach zostały podsadzone materiałem wypełniającym w ilości od 25 do 36 m³. Jako główną przyczynę niekorzystnych oddziaływań na powierzchnię terenu i podłożę projektowanego obiektu należy wskazać sufozyjną migrację drobnego materiału ziarnistego luźnych skał nadkładu do szczelino-kawernistych pustek w masywie skał węglanowych. Powstawanie tych pustek jest związane głównie z przeprowadzoną w niżej leżących skałach karbonu eksploatacją węgla kamiennego. W dłuższej perspektywie czasu powstawanie i rozwój systemu szczelin i pustek związane jest ze spływem wód opadowych przez warstwy rozpuszczalnych skał węglanowych do sztucznie odwadnianych warstw karbońskich.

Istotną wskazówką dla projektanta, wynikającą z przeprowadzonych badań i robót podsadzkowych, jest zalecenie zminimalizowania spływu wód powierzchniowych w głąb górotworu poprzez zapewnienie właściwego odbioru wód z opadów atmosferycznych, szczelności instalacji

wodociągowych i wyeliminowania ewentualnych innych dopływów wód.

Zaprezentowany w niniejszym artykule przykład badań terenu inwestycyjnego i wykonanych w ich wyniku działań zabezpieczających, przedstawia przebieg zagrożeń typu geomechanicznego dla powierzchni terenu i płytkich warstw górotworu ze strony eksploatacji górniczej przeprowadzonej w warunkach występowania w nadkładzie karbonu grubej pokrywy utworów triasowych.

Autorzy wyrażają serdeczne podziękowania Recenzentom za wnikliwą analizę manuskryptu oraz liczne cenne wskazówki i uwagi, dzięki którym publikacja niewątpliwie zyskała wiele na wartości. Pragniemy także podziękować przedsiębiorstwu Geopro, Geosolum i Eko-Labor za udostępnienie wyników prac wiertniczych i podsadzkowych.

LITERATURA

- CHUDEK M. 2010 – Mechanika górotworu z podstawami zarządzania ochroną środowiska w obszarach górniczych i pogórnich. Wyd. PŚL, Gliwice.
- DOKUMENTACJA badań podłoża gruntowego dla projektowanej hali magazynowej przy ul. Gdańskiej w Czeladzi, 2015a. Geopro, Warszawa (pr. niepubl.).
- DOKUMENTACJA z wyników geofizycznych badań elektrooporowych, wykonanych do opinii geologiczno-górnicy dla terenu objętego planowaną inwestycją budowlaną w Czeladzi przy ul. Trzeci Szyb, 2015b. Geosolum, Sosnowiec (pr. niepubl.).
- INFORMACJA o warunkach geologiczno-górnicy na terenie pogórnym dla terenu położone w Czeladzi przy ul. Trzeci Szyb, 2015. Wyższy Urząd Górniczy, Katowice (pr. niepubl.).
- OPINIA górniczo-geologiczna dla projektowanej hali magazynowej przy ul. Gdańskiej w Czeladzi, 2015. GeoRock, Piekary Śląskie (pr. niepubl.).
- PALARSKI J., PLEWA F., STROZIK G. 2014 – Filling of voids in coal longwall mining with caving – technical, environmental and safety aspects. [W:] Potvin Y., Grice T. (red.), Proceedings of the Eleventh International Symposium on Mining with Backfill. Australian Centre for Geomechanics, 20–22 May Perth, Western Australia, Australia: 483–492.
- PALARSKI J., STROZIK G. 2013 – Możliwości redukcji Możliwości redukcji negatywnych oddziaływań podziemnego zgazowania węgla na środowisko przez podsadzanie pustek podziemnych. Prz. Gór., 69 (8): 156–162.
- PILECKI Z., POPIOLEK E. 2010 – Geodezyjne i geofizyczne rozpoznanie zagrożenia zapadliskowego. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, 190 (6): 34–39.
- PLEWA F., POPCZYK M., PIERZYNA P., ZAJĄC A. 2011 – Zastosowanie materiałów z udziałem odpadów energetycznych do likwidacji zapadlisk wywołanych działalnością górniczą. Polit. Energet., 14 (2): 257–270.
- POPIOLEK E., PILECKI Z. 2005 – Poglądy na mechanizm powstawania deformacji nieciągłych na terenach górniczych. [W:] Popiołek E., Pilecki Z. (red.), Ocena przydatności do zabudowy terenów zagrożonych deformacjami nieciągłymi za pomocą metod geofizycznych. IGSMiE PAN, Kraków: 11–39.
- POWSTANIE, struktura i zadania Oddziału CZOK, 2015. http://srk.com.pl/wp-content/uploads/2015/10/SRK_ODDZIAL_CZOK.pdf, dostęp dn. 20.02.2017.
- SPRAWOZDANIE z prac wiertniczo-podsadzkowych w obrębie działek przy ul. Trzeci Szyb w Czeladzi, 2015. PPUH „Eko-Labor” sp. z o.o., Siemianowice Śląskie [pr. niepubl.].
- STROZIK G. 2015 – Wypełnianie pustek podziemnych w górotworze naruszonym eksploatacją górniczą. Wyd. PŚL, Gliwice.
- STROZIK G., JENDRUŚ R., POPCZYK M., MANOWSKA K. 2016 – Mine Subsidence as a Post-Mining Effect in the Upper Silesia Coal Basin. Pol. J. Environ. Stud., 25 (2): 777–785.
- STRZAŁKOWSKI P. 2014 – Prognozowanie czasu trwania końcowej fazy poeksploatacyjnych ruchów terenu górniczego. Prz. Gór., 1133 (4): 30–35.
- STRZAŁKOWSKI P. 2015 – Płytkie pustki na terenach górniczych a możliwość powstania zapadlisk. Budownictwo Górnicze i Tunelowe, 21 (2): 30–34.