

Geodezyjne i geofizyczne rozpoznanie zagrożenia zapadliskowego

TREŚĆ:

W artykule przedstawiono problematykę zastosowania metod geofizycznych i geodezyjnych do oceny zagrożenia zapadliskowego, wynikającą z dotychczasowego doświadczenia autorów w prowadzeniu tego rodzaju badań na terenach pogórnich. Omówiono specyfikę badań geofizycznych i geodezyjnych z punktu widzenia możliwości pomiarowych i interpretacyjnych. Podkreślono zalety i ograniczenia obu metod. Przedstawiono przykład zastosowania metod geofizycznych i geodezyjnych do oceny zagrożenia zapadliskowego w rejonie starego, zlikwidowanego szybu na terenie pogórnym eksploatacji rud galmanu.

SŁOWA KLUCZOWE:

proces zapadliskowy, model numeryczny, metody geodezyjne, metody geofizyczne

1. Empiryczne aspekty rozpoznania procesu zapadliskowego

O typie deformacji i ich wymiarach decyduje zespół czynników geologiczno-górnich, zwłaszcza zawodnienie ośrodka i związany z nim proces sufozji (Goszc 1996, Popiołek i Pilecki 2005). Szczególnie niebezpieczny stan powstaje wówczas, gdy istnieje kontakt hydrauliczny między luźnymi utworami nadkładu a spękanymi utworami skalnymi podłoża, w którym rozwinął się proces zapadliskowy.

Wpływ oddziaływania wody jest częstą przyczyną reaktywacji starych pustek i stref rozluźnień w górotworze. Dotyczy to także pustek częściowo lub nawet całkowicie podsadzonych materiałem drobnoziarnistym lub ilastym. Materiał ten może ulegać wymywaniu wskutek przepływu wód poprzez szczeliny w górotworze. Wymywanie materiału może być także przyczyną reaktywacji uskoków, a w efekcie tworzenia się nieciągłych deformacji na powierzchni terenu.

Nieco odrębnym zagadnieniem, związanym z oddziaływaniem wody jest zjawisko infiltracji wód w głąb górotworu poprzez szczeliny powstałe nad eksploatacją i propagujące ku powierzchni. W ten sposób nawet stosunkowo głęboko prowadzona eksploatacja może być przyczyną powstania pustki lub strefy rozluźnień, położonej znacznie wyżej od poziomu prowadzenia prac górniczych.

W ocenie zagrożeń deformacjami nieciągłymi należy zawsze brać pod uwagę wpływ eksploatacji głębokiej. Eksploatacja narusza górotwór powodując trwałe przerwanie ciągłości warstw geologicznych, prowadząc do deformacji na powierzchni. Zagrożenie zapadliskowe jest szczególnie duże w rejonach historycznej, płytkiej eksploatacji, gdyż prowadzenie robót górniczych w sąsiedztwie starych pustek poeksploatacyjnych może być przyczyną ich aktywacji.

Aktywacja starej istniejącej w górotworze pustki może także wystąpić na skutek nadmiernych obciążeń statycznych wynikających np. ze składowania materiału nasypów, składowisk itp. oraz różnego rodzaju obciążeń dynamicznych, np. wstrząsów sejsmicznych i parasejsmicznych czy intensywnego i długotrwałego ruchu ciężkich pojazdów.

W ogólności do czynników aktywujących proces powstania deformacji nieciągłych należy zaliczyć:

- zmiany warunków hydrogeologicznych, związanych z infiltracją wód w głąb górotworu,
- osłabienie właściwości górotworu w wyniku procesów wietrzenia i procesu reologicznego,

- utrata podporności obudowy starych, płytko występujących wyrobisk,
- zniszczenie zabezpieczeń i obudowy starych szybów i szybków,
- rozwój pustek w wyniku przemieszczenia materiału zasypowego w niewłaściwie zlikwidowanych szybach i szybkach,
- dynamiczne obciążanie górotworu drganiami komunikacyjnymi, wstrząsami górniczymi itp.,
- nadmierne obciążenia statyczne terenu.

W Polsce, problemy z występowaniem deformacji nieciągłych na powierzchni terenów pogórnich związane są z płytką eksploatacją węgla kamiennego, rud metali, surowców skalnych oraz złóż soli dokonanej w minionych dziesięcioleciach, a nawet kilkunastowiecznej przeszłości. Zagrożenie deformacjami nieciągłymi powoduje, że tereny pogórnice mają ograniczone możliwości zabudowy. Jednocześnie ciągły rozwój budownictwa wymusza szukanie rozwiązań w kierunku uzdatniania terenów pogórnich. Wymaga to zastosowania efektywnych metod oceny, m.in. zagrożenia deformacjami nieciągłymi, w sposób szybki i ekonomiczny.

2. Komplementarność geodezyjnego i geofizycznego rozpoznania zagrożenia zapadliskowego

Specyfika badań geofizycznych i geodezyjnych, z punktu widzenia możliwości pomiarowych i interpretacyjnych, wymaga odpowiednio wyraźnych zmian właściwości fizycznych ośrodka. Zmiany te powinny być większe od błędów i niepewności pomiaru przeprowadzonego w konkretnych warunkach.

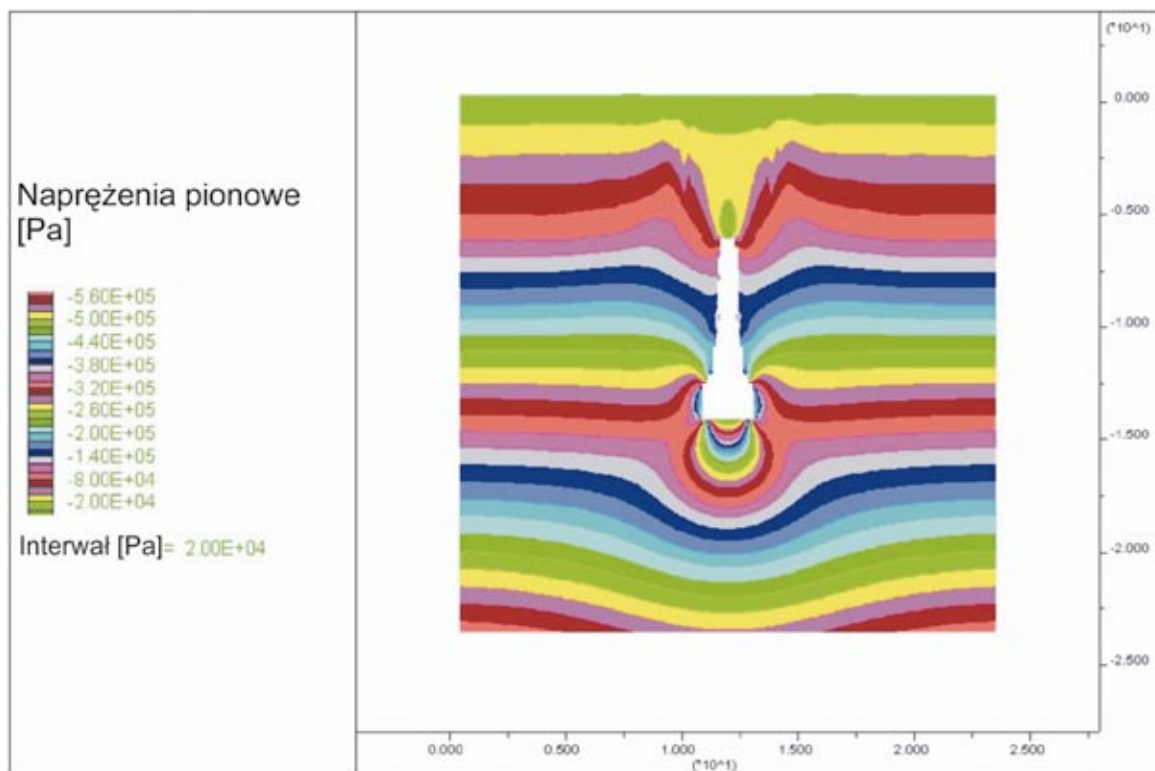
W przypadku metod geofizycznych obiektem rozpoznania są pustki i strefy rozluźnień związane z procesem zapadliskowym (rys. 2.1). Granica obszaru spękanego na ogół nie jest jednoznacznie wyznaczalna, gdyż ma

charakter przejściowy związany ze zmianą intensywności spękań. Ma to również wpływ na obraz geofizyczny tej strefy. Spękania wokół pustki powodują na ogół obniżenie gęstości objętościowej ośrodka, spadek prędkości fal sejsmicznych czy zmianę stałej dielektrycznej, dając anomalny efekt w polu geofizycznym. Nie ulega jednak wątpliwości, że dla rzetelnego i bardziej wiarygodnego rozpoznania zagrożenia deformacjami nieciągłymi należy stosować różne metody geofizyczne. W zależności o rodzaju zadania badawczego metody geofizyczne dają rezultaty, których nie można osiągnąć innymi metodami.

Metody geodezyjne stosowane do rozpoznania zagrożenia deformacjami nieciągłymi mają na celu pomiar przemieszczeń poziomych (metody sytuacyjne) i pionowych (metody wysokościowe) w wyznaczonych punktach na powierzchni terenu. Dokładność tych pomiarów, w zależności od warunków pomiarowych wynosi około kilku milimetrów.

Ocena stanu deformacji powierzchni za pomocą metody geodezyjnej wynika z procesu niszczenia, jaki rozwija się w ośrodku w strefie przypowierzchniowej. W zależności od właściwości i budowy ośrodka, a zwłaszcza od grubości luźnych gruntów w nadkładzie i grubości warstwy skalnej nad pustką lub strefą rozluźnień, proces niszczenia może spowodować wystąpienie charakterystycznych deformacji nieciągłych na powierzchni terenu. Bardziej szczegółowe opisy takich sytuacji można znaleźć w pracy Popiołka i Pileckiego (2005).

Jeżeli efekty, stwierdzone metodami geofizycznymi, rozwijającego się procesu zapadliskowego nie wywołują przemieszczeń powierzchni terenu pomierzonych metodą geodezyjną, wówczas możemy wnioskować o głębszym położeniu pustki lub strefy rozluźnień. Nie oznacza to jednak, że zagrożenie zapadliskowe nie istnieje. W czasoprzestrzennych pomiarach geodezyjnych należy uwzględnić efekty związane z przemarzaniem przy-



Rys. 2.1. Model numeryczny rozwoju procesu zapadliskowego w polu naprężeń pionowych (Pilecki i in. 2008)

powierzchniowej warstwy gruntu lub różnego rodzaju konsolidacją gruntów.

Metody geodezyjne w porównaniu do metod geofizycznych mają tę zaletę, że w mniejszym stopniu są zależne od zawodnienia ośrodka. Obraz geofizyczny praktycznie wszystkich ważniejszych metod zmienia się charakterystycznie w ośrodku zawodnionym.

W przypadku metod geofizycznych mamy możliwość wglębnego rozpoznania procesu zapadliska w zakresie zasięgu i rozdzielczości użytej do rozpoznania metody. Rozpoznanie tego procesu oznacza potencjalne ujawnienie się deformacji nieciągłej na powierzchni terenu. Zmiany przemieszczeń powierzchni terenu rejestrowane metodami geodezyjnymi wskazują jednoznacznie na wzrost zagrożenia zapadliskowego. Należy podkreślić, że większe zmiany przemieszczeń najczęściej dokonują się gwałtownie, bezpośrednio przed wystąpieniem zapadliska.

3. Skuteczność metod geofizycznych i geodezyjnych w rozpoznaniu zagrożenia zapadliskowego

Skuteczność metod geofizycznych i geodezyjnych do badania deformacji nieciągłych na terenach płytkiej

eksploatacji w znaczącym stopniu zależy od warunków geologicznych i górniczych. Dla poprawy tej skuteczności, badania można prowadzić w sposób czasoprzestrzenny i/lub kompleksowo z wykorzystaniem różnych metod o wzajemnie uzupełniającym się zakresie rozpoznania. W tym znaczeniu, z dotychczasowych doświadczeń z prowadzonych badań na terenach zapadliskowych nasuwają się następujące spostrzeżenia:

- przy projektowaniu i ustalaniu metodyki prac rozpoznania zagrożenia deformacjami nieciągłymi podstawową rolę odgrywa optymalizacja doboru metod badawczych w danych warunkach geologicznych i znajomość czynników zaburzających stan równowagi w górotworze. Istotna jest informacja o położeniu wyrobisk i ich rodzaju, dokonanej eksploatacji itp.,
- wśród metod geofizycznych do najbardziej przydatnych do rozpoznania procesu zapadliskowego, w sensie rozpoznania stref osłabienia w ośrodku, należą metody: grawimetryczna, georadarowa, sejsmiczna i elektrooporowa. Przydatność tych metod wynika z możliwości pomiaru parametrów odwzorowujących dokonane zmiany różnych właściwości ośrodka. Na przykład w metodzie grawimetrycznej dokonuje się pomiaru zmian gęstości objętościowej, a w metodzie sejsmicznej właściwości sprężystych ośrodka. Sposób

Tabela 3.1. Klasyfikacja zagrożenia powierzchni deformacjami nieciągłymi oraz sposobu jego rozpoznania metodami geofizycznymi na terenach płytkiej eksploatacji rud metali w rejonie bytomsko-tarnogórskim (Pilecki i Kotyrba 2007)

Kategoria	Warunki geologiczno-górnice	Sposób rozpoznania geofizycznego
Stopień zagrożenia		
A Brak zagrożenia	<ul style="list-style-type: none"> • brak zapadlisk, • brak informacji o występowaniu złóż • brak eksploatacji, • brak wyrobisk mających połączenie z powierzchnią, 	Tereny nie wymagające badań
B Zagrożenie średnie	<ul style="list-style-type: none"> • brak zapadlisk, • brak szczelin i progów, • brak zjawisk sufozyjnych, • stara eksploatacja, • wyrobiska pionowe i ukośne mające połączenia z powierzchnią o znanym sposobie likwidacji, • grubość warstw nadkładu skał zwięzłych co najmniej pięciokrotnie większa niż wysokość wyrobisk górniczych, • wyrobiska wypełnione wodą, 	Badania rozpoznawcze na terenie planowanej inwestycji
C Zagrożenie duże	<ul style="list-style-type: none"> • brak zapadlisk lub występują zapadliska o średnicy poniżej 5 m, • występują zjawiska sufozji, • infiltracja wód do zrobów, • szyby i szybiki o nieznanym sposobie likwidacji, • grubość warstw nadkładu skał zwięzłych w stropie mniejsza od pięciokrotnej wysokości wyrobisk górniczych, • eksploatacja zawałowa, • wyrobiska poziome i ukośne o nieznanym sposobie likwidacji, • eksploatacja głęboka pod płytkimi zrobami, • dyslokacje tektoniczne, 	Badania rozpoznawcze i szczegółowe
D Zagrożenie bardzo duże	<ul style="list-style-type: none"> • występują zapadliska o średnicy powyżej 5m, • występują progi i szczeliny, • występują zjawiska sufozyjne, • infiltracja wód do zrobów • grubość warstw nadkładu skał zwięzłych mniejsza od trzykrotnej wysokości wyrobisk górniczych, • eksploatacja zawałowa, • zjawiska sejsmiczne i parasejsmiczne 	Badania szczegółowe i monitoringowe

wykorzystania metod geofizycznych zależy od zasięgu rozpoznania, wielkości pustki lub strefy rozluźnień i warunków pomiarowych w ośrodku gruntowym, skalnym i na powierzchni terenu,

- w czasoprzestrzennym układzie pomiarów istotny jest wpływ zmiennego przewodnictwa ośrodka na uzyskane wyniki. Otrzymane w obrazach geofizycznych anomalie mogą w dużym stopniu być zniekształcone przewodnictwem ośrodka lub pośrednio z nim związane. W tym kontekście istotne znaczenie ma użycie metody geodezyjnej mniej wrażliwej na przewodnictwo,
- w interpretacji mechanizmu rozwoju procesu zapadliskowego interesujących wyników dostarczają symulacje numeryczne, z wykorzystaniem możliwie szerokich danych geologicznych i górniczych.

Pomimo licznych prac badawczych związanych z rozpoznaniem zagrożenia deformacjami nieciągłymi brak jest kompleksowych ocen opartych na wielu metodach geofizycznych korelowanych z pomiarami geodezyjnymi.

Uwzględniając dotychczasowe doświadczenia można stwierdzić, że zakres koniecznego rozpoznania geofizycznego uzależniony jest od oceny stopnia zagrożenia powierzchni dokonanej na podstawie szczegółowej analizy danych geologiczno-górniczych. Ocenę taką można przeprowadzić za pomocą klasyfikacji przedstawionej w tabeli 3.1 (Pilecki i Kotyrba 2007).

4. Przykład badań zagrożenia zapadliskowego metodami geodezyjnymi i geofizycznymi

W celu oceny czasoprzestrzennego zachowania się ośrodka przeprowadzono pomiary geodezyjne i geofizyczne na terenie pogórnym w rejonie zlikwidowanego szybiku „Andrzej” zamkniętej Kopalni Galmanu „Józef” w rejonie Olkusza. Wybór terenu badań wynikał z dotych-

czasowego dużego zagrożenia wystąpieniem zapadliska jakie obserwowano w rejonie szybiku „Andrzej”. W 1997 roku po okresach intensywnych opadów wystąpiło zapadlisko o średnicy 6 m i głębokości około 2 m. Zostało ono zlikwidowane przez zasypanie dużą ilością piasku. Późniejsze obserwacje wskazywały na obniżanie się powierzchni terenu, które mogły świadczyć o dalszej aktywacji procesu zapadliskowego.

Pomiary geodezyjne i geofizyczne przeprowadzono w trzech seriach, przy czym pomiary temperatury i ciśnienia porowego ośrodka prowadzono w sposób niemal ciągły za pomocą układu sond dokonujących pomiaru z częstotliwością co 3 minuty. Pomiary przeprowadzono w okresach, w których grunt miał różne przewodnictwo – I seria we wrześniu 2004 r., II seria na przełomie listopada i grudnia w 2004 r. i III seria w kwietniu 2005 roku. Okres pomiarów dla I serii należał do okresów suchych. II serię przeprowadzono po okresie intensywnych deszczów jesiennych. Natomiast III seria została wykonana po okresach roztopów wiosennych i lekkim przesuszeniu przypowierzchniowej warstwy ośrodka. Zakres wykonanych prac bardziej szczegółowo przedstawiono w tabelicy 4.1.

Pomiary geodezyjne przeprowadzono na 25 reperach zastabilizowanych w odległościach 3,5 m, rozmieszczonych w siatce kwadratowej obejmującej powierzchnię około 200 m². Jako reperów użyto zbrojonych prętów stalowych, zastabilizowanych w gruncie do głębokości 120 cm.

Przeprowadzono pomiary sytuacyjne i wysokościowe w tych samych cyklach, obejmujących: dwie serie „zerowe” mające na celu wyznaczenie i skontrolowanie położenia reperów sieci po ich zastabilizowaniu. W celu pełnej interpretacji uzyskanych rezultatów, oszacowano dokładność wyznaczonych przemieszczeń metodą analizy błędów elementarnych. Obliczony maksymalny błąd przemieszczenia poziomego wynosił $m_{\Delta X(\Delta Y)_{\max}} = \pm 6,2$ mm, a przemieszczenia pionowego $m_{\Delta H_{\max}} = \pm 2,6$ mm.

Pomiary sytuacyjne zostały wykonane precyzyjnym tachimetrem elektronicznym Geodimetr 650 Pro. Dokładność pomiaru kątów tym tachimetrem wynosi 1" (3^{cc}), a dokładność pomiaru długości 1 mm + 1 ppm. Ponadto użyto precyzyjnych zwierciadeł dalmierzowych.

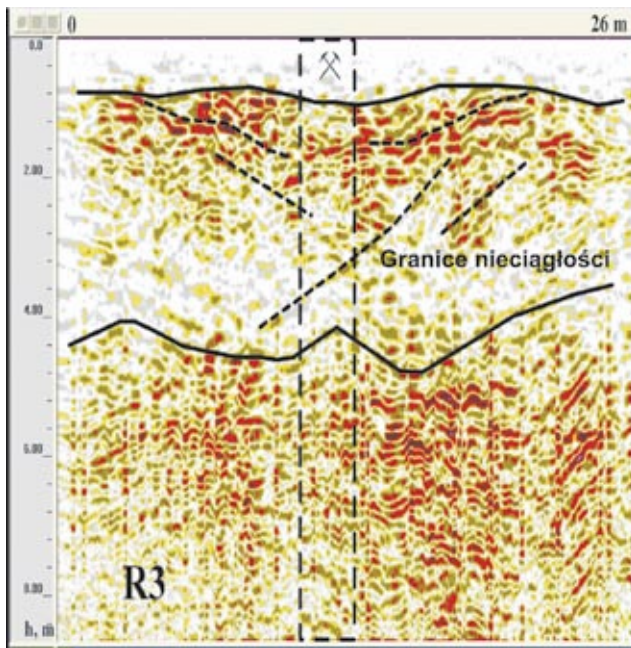
Do pomiarów wysokościowych wykorzystano elektroniczny niwelator precyzyjny Zeiss DiNi 12 oraz składaną, czterometrową łąkę techniczną z naniesionym podziałem kodowym. Niewielkie rozmiary zasadniczej siatki pomiarowej umożliwiły użycie tylko jednej łąki, co wyeliminowało z wyników pomiarów tzw. błąd miejsca zera kompletu łąk. Dokładność pomiaru zastosowanym do pomiaru niwelatorem kodowym wynosi 1,2 mm/km.

Natomiast pomiary geofizyczne wykonano zgodnie z metodykami charakterystycznymi dla konkretnej metody, a szerzej przedstawionych w pracy Popiołka i Pileckiego (2005).

Badania jednoznacznie pokazały, że pomierzone przemieszczenia powierzchni terenu nie wykazywały znaczących zmian, natomiast wyniki wielu metod

Tabela 4.1. Zakres wykonanych prac badawczych

L.p.	Rodzaj pomiaru	Dane ogólne układu pomiarowego
1.	geodezyjne	25 reperów w siatce kwadratowej w odległościach 3,5 m
2.	grawimetryczne	25 punktów w siatce kwadratowej w odległościach 3,5 m
3.	elektrooporowe	6 sondowań (PSE) po trzy w kierunkach zbliżonych do prostopadłych
4.	konduktometryczne	10 profili o długości około 26 m w siatce kwadratowej po 5 profili w odstępach około 3,5 m – antena 120 MHz
4.	georadarowe (SIR)	10 profili o długości około 26 m w siatce kwadratowej po 5 profili w odstępach około 3,5 m – antena 120 MHz
5.	georadarowe (RAMAC)	10 profili o długości około 26 m w siatce kwadratowej po 5 profili w odstępach około 3,5 m – antena 250 MHz
6.	sejsmiczne	10 profili w I serii i po 6 profili w II i III serii o długości 23 m w siatce kwadratowej w odstępach około 3,5 m. Jeden z profili, dla potrzeb metody MASW wydłużono do 46 m
7.	termowizyjne	1 profil (kilkadziesiąt termogramów)
8.	pomiar temperatury	9 sond pomiarowych w siatce kwadratowej 3,5x3,5 m i 2 sondami odsuniętymi na odległość około 5 m



Rys. 4.1. Obraz georadarowy w rejonie zlikwidowanego szybika (A. Kotyrba w Popiołek i Pilecki 2005)

geofizycznych dostarczyły interesujących informacji o rozwiniętym procesie zapadliskowym.

Pomiary geodezyjne sytuacyjne i wysokościowe wykazały znikome ruchy reperów, mieszczące się w granicach błędów wyznaczenia poziomych i pionowych ich przemieszczeń.

Pomiary grawimetryczne pozwoliły uzyskać rozkład anomalii różnicowych, które nie wskazywały na wyraźne zmiany gęstości objętościowej ośrodka. Podobnie jak w przypadku pomiarów geodezyjnych wartości anomalii różnicowych mieściły się w granicach błędu.

Pomiary elektrooporowe wskazały na to, że w szybiku i w otaczającym górotworze nie ma większych pustek, możliwe jednak są strefy lokalnie rozluźnionego materiału wypełniającego szybik.

W pomiarach georadarowych anteną 120 MHz (SIR), w części przypowierzchniowej widoczne były ukośne granice odbijające, które można identyfikować z płaszczyznami ścięcia w procesie zapadliskowym (rys. 4.1). Granice te mogły być drogami przepływu wód opadowych w podłoże. Na radarogramach, w poszczególnych seriach pomiarowych, widoczne były również zmiany prędkości rozchodzenia się fal radarowych w górotworze wywołane jego zmiennym zawodnieniem.

W pomiarach georadarowych anteną 250 MHz (RAMAC) uzyskany obraz miał mniejszy zasięg do głębokości około 7 m. Na radarogramach ujawniały się granice silnie ugięte w kierunku szybika. Możliwe było rozróżnienie kształtu strefy zapadliska. Wyniki, w porównaniu do wyników otrzymanych z użyciem anteny 120 MHz, charakteryzowały się większą rozdzielczością. Generalnie, dla

obu pomiarów uzyskano podobne obrazy przebiegu podstawowych granic georadarowych.

W pomiarach konduktometrycznych nie zaobserwowano efektów związanych z procesem zapadliskowym i lokalizacją szybika „Andrzej”. Natomiast rozpoznawalne były zmiany zawodnienia w przypowierzchniowej części ośrodka.

Pomiary sejsmiczne, podobnie jak pozostałe metody dostarczyły informacji o właściwościach i budowie ośrodka, natomiast nie stwierdzono wyraźnych zmian związanych z rozwojem procesu zapadliskowego w rejonie szybika „Andrzej” (rys. 4.2).

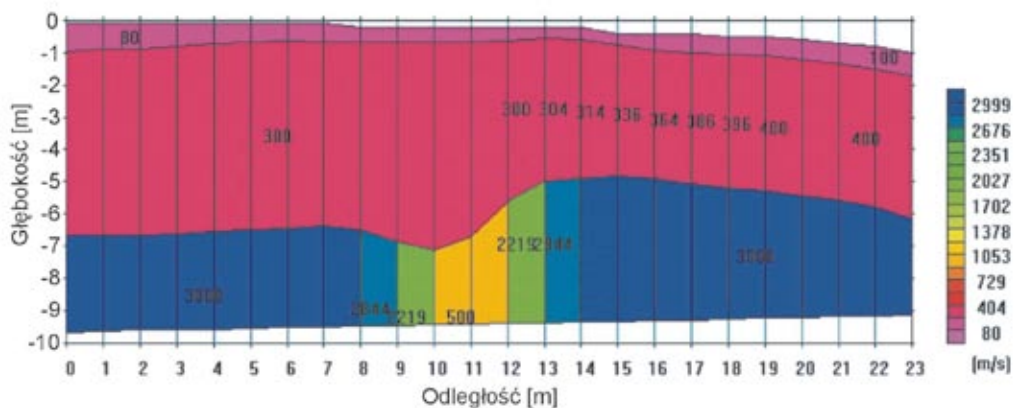
W pomiarach termograficznych zaobserwowano anomalię rozkładu temperatury w postaci jej lokalnego podwyższenia. Temperatura powierzchni gruntu nad szybem i w bliskim jego otoczeniu była o około 2–3°C wyższa od temperatury na pozostałej części badanego terenu.

W pomiarach temperatury przeprowadzonych za pomocą układu elektronicznych czujników w strefie wpływu zapadliska zarejestrowano, w okresie silniejszego nagrzania energią słoneczną powierzchni terenu, temperatury niższe od otoczenia o różnicy dochodzącej do 1,7°C – czujniki oznaczone nr 5 i 6 (rys. 4.3). W okresie zimowym, słabszego nagrzania powierzchni terenu, w strefie wpływu szybika „Andrzej” zarejestrowano temperatury wyższe, o różnicach temperatur dochodzących maksymalnie do około 1,0°C. Szybik wypełniony materiałem podsadzkiowym wraz z otaczającą strefą spękań tworzył przypuszczalnie kanał przepływu ciepła z głębszych warstw górotworu. W okresie zimowym przepływ tego ciepła podnosił temperaturę przypowierzchniowej części gruntu, natomiast w okresie letnim, przy silnym nagrzaniu powierzchni terenu, obniżał temperaturę powierzchni.

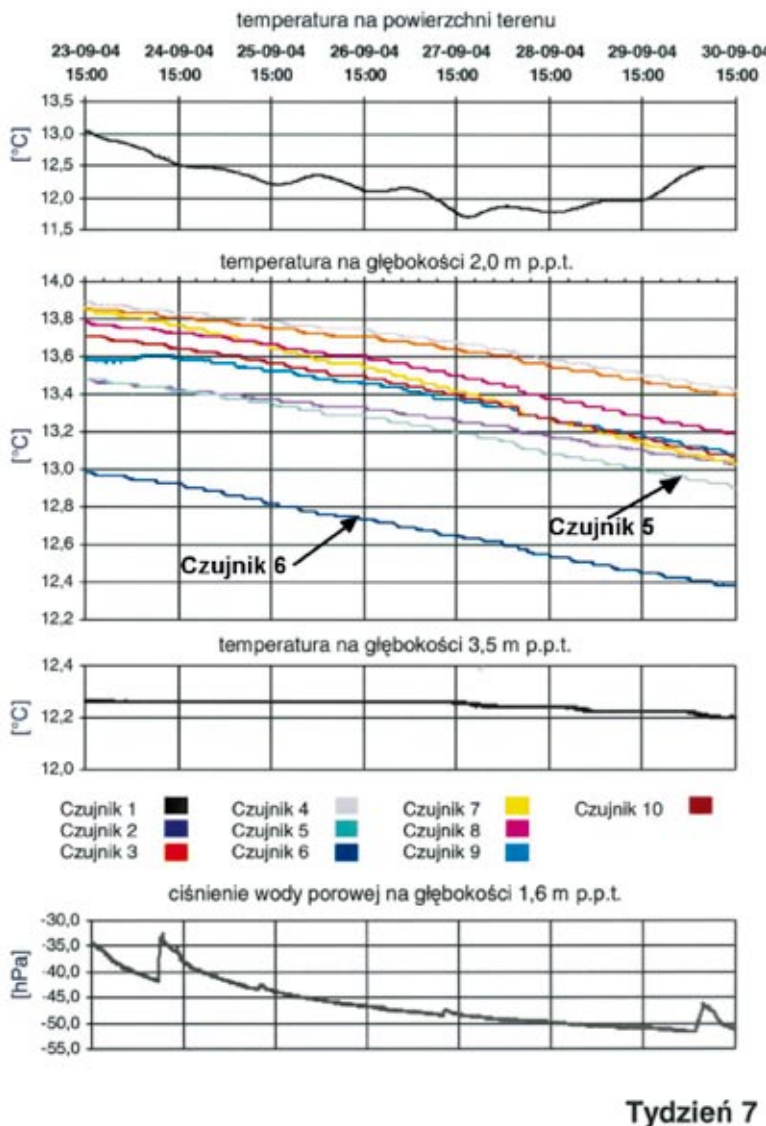
Przykład pomiarów geodezyjnych i geofizycznych na terenie zapadliskowym nad starym szybikiem pokazał interesujące zalety i ograniczenia zastosowanych metod. Kilka metod, w tym geodezyjna, wskazywały na realny stan zagrożenia zapadliskowego. Inne metody, w tym sejsmiczna, georadarowa, czy pomiaru temperatury odzwierciedlały charakterystyczne cechy budowy i właściwości ośrodka typowe dla rozwiniętego procesu zapadliskowego.

5. Podsumowanie

Możliwości prospekcyjne metod geodezyjnych i geofizycznych pozwalają na rozpoznanie zagrożenia deformacjami nieciągłymi na terenach płytkiej eksploatacji górniczej. Pomiary te powinny być realizowane niezawodnie.



Rys. 4.2. Refrakcyjny przekrój sejsmiczny na terenie zapadliskowym nad starym szybikiem (Popiołek i Pilecki 2005)



Rys. 4.3. Zmiany temperatury na tle zmian ciśnienia porowego w gruncie na terenie zapadliskowym nad starym szybikiem (Popiołek i Pilecki 2005)

leżnie od ocen analitycznych lub wyników obserwacji terenowych. Z dotychczasowych doświadczeń z prac prowadzonych przez autorów wynikają następujące spostrzeżenia:

1. Metody geodezyjne i geofizyczne są metodami komplementarnymi w zagadnieniach rozpoznania zagrożenia powierzchni deformacjami nieciągłymi. Badania tego rodzaju należałoby wykonywać co najmniej dwoma metodami, przy czym dobór metod zależy od warunków pomiarowych.
2. W praktyce trudno opracować uniwersalną metodykę pomiarów geofizycznych i geodezyjnych, która obejmowałaby specyfikę występowania deformacji nieciągłych. Metodykę pomiarową należy opracować w dostosowaniu do konkretnych warunków geologiczno-górnictwowych. Wynikają stąd też pewne odmienne opisy i klasyfikacje zagrożenia deformacjami nieciągłymi.
3. Informatywność metod geofizycznych i geodezyjnych rośnie wraz z koncentracją pomiarów. W przypadku niewielkich, kilkumetrowych rozmiarów „objektów” jakimi są pustki i strefy rozluźnienia w górotworze, obniżenie jakości informacji może prowadzić do niepewnych wyników.
4. Rozwój aparatury pomiarowej i technik przetwarzania i interpretacji danych, dostarcza nowych możliwości w rozpoznawaniu budowy i właściwości ośrodka, co stwarza nowe możliwości w ocenie zagrożenia deformacjami nieciągłymi.

Badania geodezyjne i geofizyczne mają podstawowe znaczenie praktyczne w rozpoznaniu zagrożenia zapadliskowego, zwłaszcza dla potrzeb projektów zagospodarowania przestrzennego oraz konkretnych projektów technicznych różnych obiektów budowlanych.

Artykuł recenzował
dr hab. inż. Janusz OSTROWSKI

Literatura

- [1] Goszcz A.: *Powstawanie zapadlisk i innych deformacji nieciągłych powierzchni na obszarach płytkiej eksploatacji górniczej*. Mat. Konf.: Szkoła Eksploatacji Podziemnej '96. Wyd. CPPGSMiE PAN, 119-137, 1996
- [2] Pilecki Z., Kumorowski M., Krawiec K.: *Rozwój procesu zapadliskowego w świetle symulacji numerycznej metodą FDM*. Abstrakt – Materiały I Kongresu Geologicznego, 26-28 czerwca 2008, Kraków.
- [3] Pilecki Z., Kotyrba A.: *Problematyka rozpoznania deformacji nieciągłych dla potrzeb projektowania konstrukcji drogowych na terenie płytkiej eksploatacji rud metali*. Prace Naukowe GIG Nr III/2007, wyd. specjalne; 379-392, 2007
- [4] Popiołek E. i Pilecki Z. (red.): *Ocena przydatności do zabudowy terenów zagrożonych deformacjami nieciągłymi za pomocą metod geofizycznych*. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2005.