

**GEORADAROWA I TERMOWIZYJNA METODA POZYSKIWANIA
GEODANYCH O PUSTKACH PODPOWIERZCHNIOWYCH**

**GEORADAR AND THERMOVISION METHOD FOR THE ACQUISITION
OF GEODATA ON SUBSURFACE VOIDS**

Alina Wróbel, Łukasz Ortyl

Katedra Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: pustki podpowierzchniowe, georadar, radargram, termowizja, anomalia cieplna

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono metodykę i ocenę przydatności metody georadarowej i termowizyjnej w rozpoznawaniu pustek podpowierzchniowych. Pomiary doświadczalne opisane w niniejszej publikacji wykonano na terenie zasypanego szybu starej kopalni. Prace pomiarowe przeprowadzono trzykrotnie w różnych porach roku, przy różnych temperaturach i różnym zawilgoceniu gruntu. Pozwoliło to na uzyskanie informacji o wpływie tych parametrów na efektywność metody georadarowej i termowizyjnej w rozwiązaniu postawionego problemu. Realizowane prace badawcze służyły równocześnie testowaniu zestawu pomiarowego GPR-TCR i GPR – GPS pod kątem pozycjonowania pomiarów georadarowych.

1. WPROWADZENIE

Pustki podpowierzchniowe są zjawiskiem, które występuje na terenach pogórnich jak również w obszarach starych części miast gdzie istnieją niezidentyfikowane tunele, przejścia, stare piwnice. Istnienie pustek podpowierzchniowych wiąże się z możliwością wystąpienia deformacji nieciągłych (zapadlisk) co ogranicza możliwości zabudowy lub stanowi zagrożenie dla obiektów istniejących. Wykrywanie pustek ma więc duże znaczenie w procesie planowania inwestycji budowlanych na terenach pogórnich oraz we właściwym zabezpieczeniu stateczności budowli istniejących. Wykrywanie pustek realizowane jest z wykorzystaniem wielu metod: grawimetrycznej, elektrooporowej, sejsmicznej, georadarowej i termowizyjnej. Są to metody pośrednie oparte na obserwacji różnych wielkości oraz rozpoznaniu anomalii w zapisie sygnału mogących mieć związek z występowaniem pustek. W ostatnim okresie powstaje wiele opracowań, które wskazują na możliwości wykorzystania tych metod jako narzędzia wspomagającego prace decyzyjne związane z planowaniem zagospodarowania przestrzennego (Szczerbowski, 2004). Podejście to wydaje się w pełni zasadne ponieważ proces integracji danych płynących z różnych urządzeń pomiarowych z mapą jest coraz łatwiejszy.

Metoda georadarowa należy do grupy metod radiofalowych. Pomiary realizowane są z zastosowaniem aparatury zwanej georadarem. Georadar składa się z między innymi z jednostki centralnej oraz dwóch anten: nadawczej i odbiorczej. Antena nadawcza emituje

w głąb górotworu falę elektromagnetyczną, która ulega odbiciu, załamaniu i tłumieniu. Najważniejszym zjawiskiem, z punktu widzenia metody georadarowej, jest odbicie fali na granicy dwóch ośrodków różniących się stałą dielektryczną. Fala odbita rejestrowana jest przez antenę odbiorczą. Otrzymany obraz falowy jest odzwierciedleniem budowy geologicznej ośrodka i znajdujących się w nim obiektów pochodzenia antropogenicznego. Skuteczność rozpoznania zjawisk podpowierzchniowych z zastosowaniem metody georadarowej związane jest ze zjawiskiem tłumienia fali, które zależy od rodzaju i stopnia uwodnienia ośrodka oraz innych czynników opisanych przez główne równanie metody georadarowej (Karczewski, 1997). Niezwykle istotny jest właściwy dobór parametrów pomiaru oraz umiejętność przetworzenia i interpretacji treści zapisu georadarowego.

Pustki podpowierzchniowe to zjawiska przestrzenne dlatego właściwe rozpoznanie obszarów ich występowania wymaga wykonania wielu profili georadarowych. Wiąże się to z doбором odpowiedniej metody pozycjonowania miejsc ich realizacji, co wspomaga proces interpretacji i umożliwia integrację uzyskanych wyników z innymi danymi gromadzonymi w Systemach Informacji Przestrzennej. Optymalnym rozwiązaniem wydaje się integracja metody georadarowej z systemem GSSN lub z zastosowaniem tachymetrów samonaprowadzających (Gocał *et al.*, 2006a).

Metoda termowizyjna pozwala na otrzymanie rozkładu natężenia promieniowania podczerwonego na obserwowanej powierzchni. Przy znajomości wartości współczynnika emisyjności badanego ciała, temperatury otoczenia oraz temperatury i wilgotności atmosfery otrzymuje się wizualny rozkład temperatury na powierzchni.

Pomiar lub wyznaczenie temperatury powierzchni gruntu jest zagadnieniem niezwykle złożonym. Temperatura powierzchni gruntu zależy bowiem od wielu czynników, takich jak: temperatura i przewodność cieplna podpowierzchniowych warstw, wilgotność, porowatość powierzchniowej warstwy gruntu, wartość współczynnika emisyjności, temperatura otoczenia (nasłonecznienie) oraz budowa i cechy głębszych warstw. Temperatura ta jest zmienna zarówno w czasie, jak też zmienny jest jej rozkład na powierzchni. Zmienność temperatury gruntu w czasie zależy głównie od dynamiki procesów cieplnych oddziałujących na powierzchnię, natomiast powierzchniowe zróżnicowanie temperatury gruntu niepokrytego roślinnością wynika przede wszystkim z nierówności jego powierzchni i niejednakowej wilgotności.

Temperatura powierzchni ziemi zależy, szczególnie w porze dziennej, od jej pokrycia roślinnością. Powierzchnia gleb odkrytych w słoneczny dzień nagrzewa się do znacznie wyższej temperatury niż pokryta roślinnością. Temperatura powierzchni gleby odkrytej w porze dziennej zależy od tego, czy znajduje się w cieniu, czy też dociera do niej bezpośrednie promieniowanie słoneczne. Ta zależność jest oczywista, ale należy uwzględnić ją przy planowaniu i interpretacji zobrażeń termograficznych.

Zmiany wartości temperatury i jej rozkładu na powierzchni gruntów o różnym pokryciu w cyklu dobowym były przedmiotem testowych pomiarów termograficznych (Mularz, Wróbel, 2003). Analiza wyników tych badań wykazała, że poziom oraz amplituda temperatury dobowej zależą wyraźnie od ukształtowania i cech strukturalnych powierzchni terenu oraz od rodzaju i stopnia pokrycia roślinnością. Stwierdzono, że dla detekcji anomalii termicznych związanych z wewnętrznym strumieniem cieplnym Ziemi, termogramy należy wykonywać tuż przed wschodem słońca.

O wewnętrznej budowie obiektu można wnioskować jeśli przez obiekt przepływa strumień ciepła, a niejednorodność budowy wewnętrznej ciała (zróżnicowanie

przewodności cieplnej) spowoduje zróżnicowanie temperatury na jego powierzchni. Tak więc pomiary termowizyjne mające na celu rozpoznanie wnętrza obiektów wymagają starannego przygotowania i przeprowadzenia w optymalnych warunkach. Dla obserwacji powierzchni ziemi w celu wykrycia pustek podpowierzchniowych optymalne warunki występują porze wiosennej, po całkowitym rozmarznięciu i przeschnięciu gruntu, przed wschodem słońca, przy zachmurzonym niebie.

2. OPIS OBIEKTU I METODYKA PRAC POMIAROWYCH

Pomiary doświadczalne wykonano na terenie zasypanego szybu starej kopalni, w której eksploatację zakończono na początku XX w. Pod względem geograficznym obszar badań znajduje się na wyżynie krakowsko częstochowskiej w okolicach Olkusza. Teren otoczony jest niskimi budynkami mieszkalnymi i gospodarczymi, stanowiącymi zabudowę o charakterze rozproszonym. W 1997 roku w miejscu szybu pojawiło się zapadlisko, które zostało zasypane piaskiem. Obecnie powierzchnia terenu w otoczeniu szybu ma niewielkie deniwelacje i nieznaczne nachylenie; pokryta jest niską roślinnością trawiastą z wyjątkiem piaszczystego obszaru nad samym szybem. Na terenie znajdują się małe drzewka. Charakter powierzchni badanego terenu przedstawiony jest na fotografii – Rys. 1. (Popiołek, Pilecki, 2005)

Pomiary georadarowe i termowizyjne na obiekcie badawczym wykonano w trzech seriach pomiarowych w następujących terminach: I seria –wrzesień 2004, II seria – przełom listopada i grudnia 2004, III seria – kwiecień 2005. Należy podkreślić odmiennność warunków cieplno-wilgotnościowych panujących w czasie wykonywania poszczególnych serii pomiarowych. W okresie rejestracji I. serii było sucho a temperatura powierzchni gruntu w znacznym stopniu wynikała z dostarczonego latem promieniowania słonecznego. II. serię wykonano po okresie intensywnych opadów i przy zamarzniętej wierzchniej warstwie gruntu; III. seria była przeprowadzona po całkowitym rozmarznięciu gruntu, przesuszeniu wierzchniej jego warstwy i niskiej temperaturze powietrza.

2.1. Pomiary georadarowe

Pomiary georadarowe realizowano w siatce profili wzajemnie równoległych i prostopadłych. Profile od 1 do 5 wykonano na kierunku zachód-wschód (Z-W) zaś profile od 6 do 10 są do nich prostopadłe. Profile 11 i 12 wykonano ukośnie do pozostałych. Przebieg profilowań radarowych w odniesieniu do lokalizacji szybu oraz charakter powierzchni realizacji badań prezentuje rysunek 1. Przebieg profili determinowany był możliwością swobodnego przejścia pomiędzy drzewami sadu. Optymalnie obejmował obszar szybu i jego otoczenia zdefiniowany poprzez przedstawione na szkicu punkty lokalnej siatki geodezyjnej stabilizowane dla potrzeb prac badawczych realizowanych innymi metodami w tym termowizyjną.

Profile georadarowe wykonywano jak najdłuższe, aby pozyskać maksymalną ilość informacji o dalszym sąsiedztwie rejonu zapadliska. Jest to czynnik warunkujący właściwą interpretację treści radargramów. Wykonane radargramy charakteryzują się różną długością liniową, co uzależnione było warunkami terenowymi. Do lokalizacji wzajemnej pozycji pomiarów georadarowych wykorzystano prototyp zestawu pomiarowego GPR – TCA przygotowany w Katedrze Geodezji Inżynierskiej i Budownictwa w ramach projektu

badawczego KBN nr 4T12E04827. Zestaw ten umożliwia wyznaczenie przestrzennej pozycji miejsca rejestracji śladów georadarowych w dowolnym zdefiniowanym układzie współrzędnych. Wykorzystany system pomiarowy umożliwia przyspieszenie prac pomiarowych, dostarcza danych o geoprzestrzennym położeniu anteny pomiarowej. Informacje pozyskane zestawem podnoszą możliwości właściwej interpretacji treści rejestrowanych radargramów, ponieważ korygują geometrycznie przebiegi struktur wykrywanych georadarem. Zestaw pomiarowy składa się z georadaru RAMAC/GPR szwedzkiej firmy MalaGeoscience i tachymetru samonaprowadzającego TCA 1102 Plus firmy Laeica. Zasada pracy zestawu oparta jest o niestandardowe (autorskie) rozwiązania techniczno – informatyczne (Ortyl, Owerko, 2007). Opis zasad i metodyka pracy zestawu pomiarowego przedstawiono w publikacji (Bałut, Ortyl, 2006). W przypadku badanego obszaru wykorzystano układ lokalny punktów geodezyjnych.

Do pomiarów radarowych użyto anteny ekranowanej o częstotliwości 250 MHz. Antena tej częstotliwości posiada potencjalny maksymalny zasięg głębokościowy rzędu 15 m. Podczas prac pomiarowych przyjęto następujące parametry:

- częstotliwość próbkowania: 2526 MHz,
- ilość próbek w trasie: 759,
- okno czasowe: 300 ns,
- ilość złożzeń: 16,
- interwał zapisu śladów poprzez odległość: 0,04 m.

Wszystkie pomiary georadarowe wykonano używając tych samych parametrów rejestracji, aby zapewnić możliwość porównania wyników.



Rys. 1. Szkic rozmieszczenia profili georadarowych względem lokalizacji szyby oraz fotografia obszaru testowego.

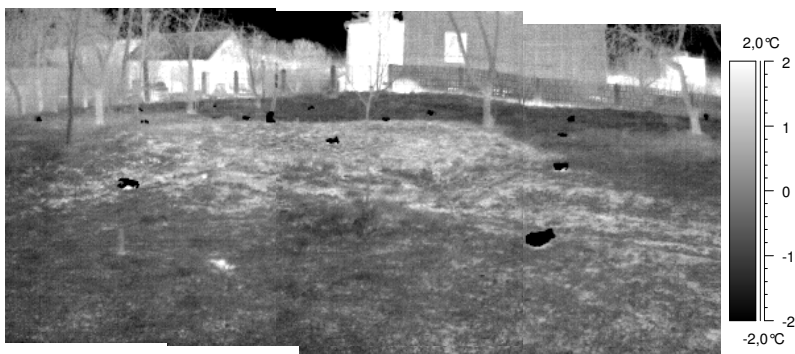
2.2. Pomiary termowizyjne

Pomiar termograficzny w celu wykrycia ewentualnej podziemnej anomalii cieplnej związanej z istnieniem pustki powinien być wykonany w warunkach, kiedy zakłócające wpływy otoczenia na temperaturę powierzchni terenu są minimalne. Optymalne warunki pomiaru to:

- brak opadów atmosferycznych przed i w czasie pomiaru
- sucha, jednorodna, płaska i niezasłonięta powierzchnia
- bezwietrznie
- niski pułap chmur
- możliwość obrazowania z odległości około 40 ÷ 80 m, prostopadle do badanej powierzchni
- pora wczesnowiosenna

Teren pomiarów doświadczalnych miał nierówną i niejednorodną powierzchnię. Nie było możliwości obrazowania z odległości kilkudziesięciu metrów, w kierunku prostopadłym do badanej powierzchni. Obrazowanie w podczerwieni termalnej przeprowadzono kamerą ThermoCAM s60 firmy FLIR, a obróbkę termogramów przy pomocy programu ThermoCAM Reporter. Termogramy wykonano przed wschodem słońca, z niewielkiego podwyższenia. Do zobrazowania całej badanej powierzchni wykonano dużą liczbę termogramów, zorientowanych tak, by rosnące drzewa przesłaniały niewielkie obszary terenu. Powstał problem z pozycjonowaniem każdego termogramu w celu montażu obrazu rozkładu temperatury na całej badanej powierzchni i integrację wyników z mapą.

W tym celu wykorzystano fotopunkty, a termogramy wykonywano tak, by na każdym zobrazowane było co najmniej sześć (konieczne są cztery), umożliwiające przetworzenie termogramu na płaszczyznę mapy metodą transformacji rzutowej. Do sygnalizacji fotopunktów termalnych należy użyć znaków, które w wyraźny sposób będzie można zidentyfikować na termogramie (Rys. 2). A więc powinny mieć temperaturę znacząco inną niż sąsiadujący z nimi obszar – co jest technicznie trudne do praktycznego zrealizowania. Można użyć znaków, dla których pozorna temperatura będzie pozwalać na ich wyodrębnienie; znaki takie mogą być wykonane z materiału o dużym współczynniku odbicia promieniowania podczerwonego, w sytuacji kiedy temperatura otoczenia znacząco odbiega od temperatury obiektu. Ponieważ obrazowano powierzchnię ziemi przy zimnym nieboskłonie w porze nocnej fotopunkty wykonano z folii aluminiowej.



Rys. 2. Termogram badanej powierzchni 12.04.2005 – widok w kierunku wschodnim.

3. OPRACOWANIE I INTERPRETACJA WYNIKÓW POMIARÓW

3.1. Opracowanie georadarowe

Pozyskany dla obiektu badawczego materiał pomiarowy poddano procesowi filtracji. z wykorzystaniem programu REFLEX_W. Podstawą doboru parametrów poszczególnych filtrów był materiał wyjściowy pierwszej serii pomiarowej. Wartości parametrów dla poszczególnych filtrów przedstawia Rys. 3. Dla następnych serii pomiarowych stosowano ten sam zestaw filtrów. Zapewniono tym samym możliwość analizy porównawczej wyników w poszczególnych seriach pod kątem wpływu zmiany warunków gruntowych na pozyskany materiał georadarowy.

Processing flow
 file: C:\Program Files\REFLEX\volkusz\PROCDATA\PROFILE01.TOT

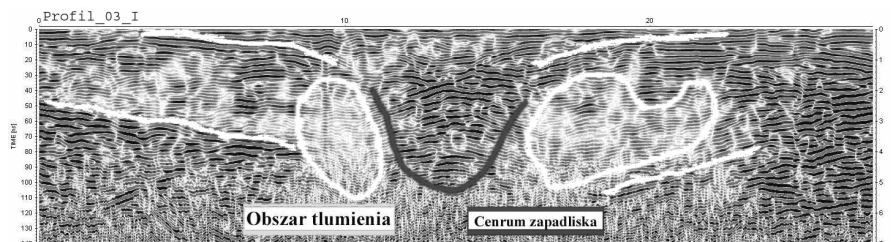
```

usuniecie czynnika DC / 200 / 300 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0
usuniecie tła w próbkach / 4 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0
przesunięcie czasu startu / -11.5 / 0 / 0 / 0 / 0 / 1 / 0 / 0 / 0
obcięcie próbek po czasie / 140 / 0 / 0 / 0 / 1 / 0 / 0 / 0 / 0
interpolacja tras / 0.02 / 26.93695 / 0 / 0 / 1 / 0 / 0 / 0 / 0
usuniecie tła / 0 / 140.1248 / 95.03 / 121.99 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0
funkcja wzmacniająca / 1 / 4 / 1.5 / 1500 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0
filtr przepustowy / 140 / 171 / 334 / 364 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0
filtr wygładzający / 3 / 3 / 0 / 141.1248 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0
rozkład energii / 1 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0
  
```

Rys. 3. Zestawienie wartości parametrów zastosowanych filtrów.

Wykorzystana antena pomiarowa pozwoliła na pozyskanie informacji o górotworze do głębokości 7 m, przy założeniu prędkości propagacji sygnału w ośrodku, wynoszącej 0,1 m/ns. Prędkość przyjęto na podstawie danych tabelarycznych dla piasku i gliny w oparciu o informacje zawarte w materiałach z rozpoznań geologicznych.

Wyniki I serii badań wskazują na możliwość wyróżnienia poszczególnych warstw litologicznych. W zapisie georadarowym ujawniają się granice silnie ugięte w kierunku szybiku. Możliwe jest rozróżnienie centrum zapadliska i strefy około zapadliskowej. Stan ten pojawia się na radarogramach w postaci obszarów o silnie wytłumionym sygnale. Przykładowy radarogram będący efektem I serii pomiarowej wraz z interpretacją jego treści przedstawiono na rysunku. 4. Jest to radarogram wykonany na profilu nr 3. Jasne linie przedstawiają przebieg ważniejszych granic, zamknięte białe obszary to strefy silnego tłumienia sygnału w rejonie szybu, kolor ciemny to centrum zapadliska.



Rys. 4. Przykładowy radarogram zarejestrowany na obszarze testowym wraz z interpretacją jego treści.

Wyniki drugiej serii badań dostarczyły bardzo podobnej informacji odnośnie przebiegu granic litologicznych. Istnieją niewielkie różnice, które są efektem niedokładności przejścia z anteną po linii profilu. Różne warunki gruntowe panujące w czasie poszczególnych serii pomiarowych nie wpłynęły w znaczący sposób na obraz radarowy. Dane drugiej serii pomiarowej przy zastosowaniu tego samego zestawu filtrów charakteryzuje silniejsze odbicie w strefie przypowierzchniowej i większy szum w sygnale radarowym na całym profilu. Pierwsza seria dostarcza czytelniejszej informacji o przebiegu granic do głębokości 2 m. Prawdopodobnie większe zawodnienie ośrodka w II serii pomiarowej wpłynęło na pojawienie się większego szumu w zapisie radarowym. Zmiana poziomu wilgotności gruntu spowodowała również zmianę prędkości fali w ośrodku. W ośrodku suchym fala propagowała szybciej, co ujawnia się głębszą penetracją obszaru badań w pierwszej serii pomiarowej w stosunku do serii drugiej przy tym samym czasie nasłuchu. Wyniki III serii badań w porównaniu do serii I charakteryzuje silniejsze odbicie w strefie do 2m i większy szum w sygnale radarowym jednak nie aż tak intensywny jak w serii II. Przypuszczalnie zmiany te świadczą o różnym stopniu zawodnienia ośrodka w poszczególnych seriach pomiarowych. Na obrazach radarowych nie zaobserwowano znaczących różnic w zakresie przemieszczenia warstw przypowierzchniowych.

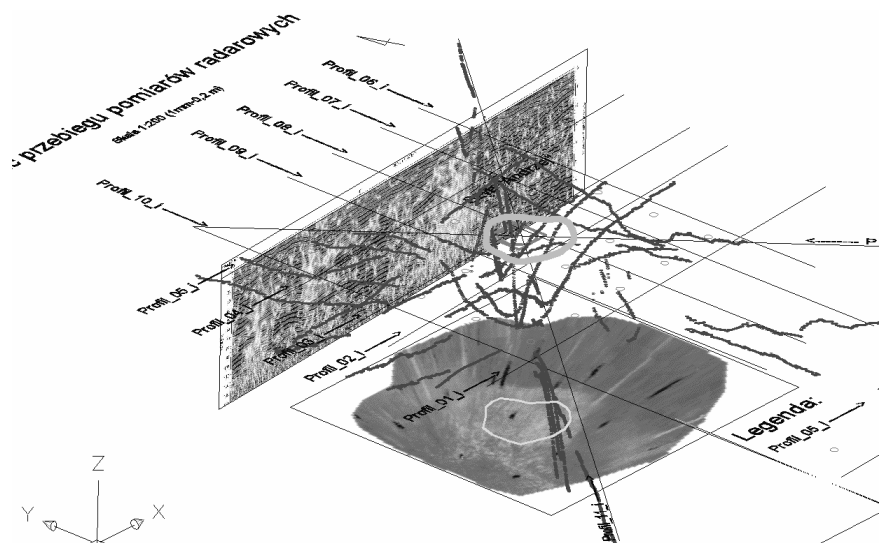
3.2. Opracowanie termograficzne

Na termogramach zarejestrowanych w porze jesiennej obserwuje się niewielkie lokalne maksimum temperatury, co może sugerować na korelację z istnieniem szybu. Jednak przyczyny zróżnicowania temperatury należy dopatrywać się w zróżnicowaniu powierzchni terenu: nad szymbem pokryta jest piaskiem, na pozostałym terenie roślinnością. W porze zimowej przy dużej wilgotności gruntu anomalii w rozkładzie temperatury nie zaobserwowano. Wyraźne anomalie termiczne, nie korelujące z granicą pokrywy roślinnej uwidoczniły się w porze wiosennej. Rozkład temperatury zarejestrowany na termogramach w porze wiosennej przetworzono na płaszczyznę mapy. Mapę rozmieszczenia fotopunktów wykonano w programie Microstation. Przekształcenie rzutowe termogramów na płaszczyznę mapy oraz ich montaż odbyło się przy użyciu programu Image Analyst firmy Intergraph. Przekształcenie rzutowe wykonywane było dwuetapowo: wstępne – w sposób przybliżony; ostateczne w oparciu o fotopunkty. Ta dwuetapowość przetwarzania wynikała z dużej wartości nachylenia płaszczyzny termogramu do płaszczyzny poziomej – program nie potrafił zrealizować tego w jednym etapie. Interpolację barwy pikseli (resampling) przeprowadzono metodą najbliższego sąsiada, ponieważ ważne było zachowanie źródłowej palety barwnej obrazującej rozkład temperatury. W efekcie otrzymano kartometryczny rozkład temperatury na badanej powierzchni, co umożliwiło jego integrację z opracowaniem georadarowym.

3.3 Integracja opracowania georadarowego i termowizyjnego

W oparciu o współrzędne przestrzenne miejsc realizacji pomiarów radarowych pozyskane z zastosowaniem tachymetru samonaprowadzającego wygenerowano trójwymiarowy model zapadliska. Metodykę przekształcenia radargramów w celu wygenerowania metrycznego modelu 3D przedstawiono w publikacji (Gocał *et al.*, 2006b). Metodyka ta obrazuje etapy przekształcania radargramów, wektoryzację ich treści

i konwersje uzyskanych wyników do programów umożliwiających pracę na danych wektorowych w przestrzeni 3D tj. do środowiska CAD. Powstały model ujawnił wyraźnie efekt pierścienia wokół szybiku czyli obszaru silnego tłumienia sygnału, centrum zapadliska i korelację wzajemną poszczególnych warstw litologicznych w zakresie sąsiednich radargramów. Ze względu na to, iż model powstał w programie CAD, możliwa była również integracja pomiarów georadarowych, termowizyjnych i mapy zasadniczej. Przestrzenna interpretacja danych pozyskanych za pomocą tych dwóch metod wskazuje na korelację otrzymanych wyników, gdzie wektor rozkładu zmian około zapadliskowych wynikający z pomiaru radarowego koreluje z obszarem zmian termicznych zarejestrowanych na powierzchni gruntu podczas III wiosennej serii. Wygenerowany model zapadliska na tle mapy termicznej powierzchni terenu przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Przestrzenny metryczny model rozkładu struktur podpowierzchniowych wykrytych metodą georadarową w rejonie szybu w odniesieniu do mapy rozkładu temperatury.

4. WNIOSKI

Metoda georadarowa pozwoliła na rozpoznanie obszaru zasypanego szybu do głębokości około 7m. Wyniki badań wskazują na możliwość wyróżnienia poszczególnych warstw litologicznych. Możliwe jest rozróżnienie centrum zapadliska i strefy około zapadliskowej.

Zastosowanie zestawu pomiarowego GPR – TCA umożliwiło równoczesne pozyskanie informacji o geometrii struktur uwidocznionych na radargramach. Dzięki temu możliwe jest uzupełnianie treści map tematycznych o informacje dotyczące struktur i obiektów podpowierzchniowych.

Nad zasypnym szybem, na powierzchni terenu, widoczna jest anomalia rozkładu temperatury, ale tylko w porze wczesnowiosennej w optymalnych warunkach związanych z wykrywaniem struktur podpowierzchniowych.

Zarówno metoda georadarowa jak i termowizyjna nie umożliwia bezpośredniego rozpoznania obiektu znajdującego się pod powierzchnią w tym szczególnie zapadliska czy starych szybów.

Integracja wyników pomiarów georadarowych i termowizyjnych pozwala na ich łączną interpretację i podnosi wiarygodność wykrycia pustek.

Literatura

Gocał J., Ortyl Ł., Sołtys M., 2006a. Zestaw konstrukcyjny do określania lokalizacji anteny georadaru metodą GPS oraz zrobotyzowanym tachymetrem (Instrument set for georadar antenna positioning using GPS or robotized total station), *Proceedings of the Geodesy and Environmental Engineering Commission, Geodesy 42*, p. 5–14.

Gocał J., Ortyl Ł., Sołtys M., 2006b. Processing of images recorded by the radar method, aimed at construction of metric 3D models of subsurface objects and structures, *Geodezja i Kartografia*, Vol. 55 no. 1 s. 47–56.

Karczewski J., 1997. Metody przetwarzania georadarowych danych pomiarowych dla lokalizacji antropogenicznych i naturalnych zaburzeń w warstwach przypowierzchniowych, *Rozprawa doktorska*, AGH Kraków.

Mularz S., Wróbel A., 2003. Badanie rozkładu temperatury powierzchni terenu z wykorzystaniem zobrażeń termowizyjnych. *Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum geoinformacji, - Archiwum Fotogrametrii i Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 13 B, s. 441-450.

Ortyl Ł., Bałut A., 2006. Application of a RTK-GPS technique in the process of 3-D location of georadar profile traces. *Proceedings of the Geodesy and Environmental Engineering Commission, Geodesy 42*, s. 27–43.

Ortyl Ł., Owerko T., 2007. Korekta wpływu deniwelacji terenu oraz częstotliwości wyznaczenia pozycji przez system GNSS lub tachymetry TCA w procesie przestrzennej lokalizacji obiektów wykrywanych georadarem. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, ISSN 0372-9508 ; nr 1752. *Górnictwo*. - 2007 Z. 278 s. 335–352.

Popiołek E., Pilecki Z., 2005, Ocena przydatności do zabudowy terenów zagrożonych deformacjami nieciągłymi za pomocą metod geofizycznych, *Wydawnictwo IGSMiE PAN*.

Szczerbowski Z., 2004. Problematyka klasyfikacji terenu pogórniczego dla potrzeb jego zagospodarowania na przykładzie Inowrocławia, *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* ; ISSN 1230-3631, nr 5 s. 25–26

Niniejszą pracę wykonano: w części dotyczącej georadaru - w ramach projektu badawczego nr 4T12E04827 finansowanego ze środków KBN w latach 2004-2007; w części dotyczącej termowizji - w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.150.312.

**GEORADAR AND THERMOVISION METHOD FOR THE ACQUISITION
OF GEODATA ON SUBSURFACE VOIDS**

KEY WORDS: subsurface void, georadar, radargram, termovision, termal anomaly

SUMMARY: In the article, the authors are presenting the georadar and thermographic methods, and an evaluation of their suitability for detection of underground voids. Trial measurements have been made in an old, buried miners' shaft. The measurements were made three times, in different seasons of the year, in different temperatures and in different air humidity. This enabled the authors to get information about the impact of the environmental conditions on the effectiveness of the georadar and thermographic methods in detection of such voids. Another aim of the trial measurements was to test the measurement sets of GPR-TCR and GPR-GPS in the area of positioning the georadar measurements.

dr inż. Alina Wróbel
alibel@agh.edu.pl
012 617 22 69

dr inż. Łukasz Ortyl
lukasz.ortyl@agh.edu.pl
012 617 22 99