

**IDENTYFIKACJA OBIEKTÓW ARCHEOLOGICZNYCH PRZY  
WYKORZYSTANIU GEORADARU (GPR) – ŚREDNIOWIECZNE MIASTO  
SZAMOTUŁY**

**THE APPLICATION OF GROUND PENETRATING RADAR IN THE  
IDENTIFICATION OF ARCHAEOLOGICAL STRUCTURES – A MEDIEVAL  
TOWN OF SZAMOTUŁY**

**Andrzej Kijowski<sup>1</sup>, Marcin Słowik<sup>2</sup>, Włodzimierz Rączkowski<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego,  
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

<sup>2</sup> Zakład Centrum Turystyki i Rekreacji, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza  
w Poznaniu

<sup>3</sup> Instytut Prahistorii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

SŁOWA KLUCZOWE: georadar, archeologia nieinwazyjna, Szamotuły, rekonesans lotniczy

STRESZCZENIE: W 2006 roku odkryto miejsce lokacji średniowiecznego miasta (Szamotuły). Ślady tego miasta zidentyfikowano dzięki rekonesansowi lotniczemu. To unikatowe znalezisko zostało objęte ochroną konserwatorską i dzięki temu możliwe tam jest prowadzenie tylko badań nieinwazyjnych. Te nieinwazyjne badania polegają na cyklicznym rekonesansie lotniczym oraz pozyskiwaniu nowych danych przy pomocy metod teledetekcyjnych, takich jak: metoda geomagnetyczna czy elektrooporowa. Każda z metod dostarcza informacji o innych aspektach zachowanych obiektów archeologicznych. W niniejszym tekście zaprezentowane zostały wyniki pilotażowego rozpoznania stanowiska przy pomocy metody georadarowej. Wyniki zostały skonfrontowane z interpretacją zrektyfikowanych zdjęć lotniczych. Pozytywny wynik testu pozwala planować takie rozpoznanie metodą georadarową, które da tomograficzny obraz średniowiecznego miasta.

## 1. WSTĘP

W 2006 roku w rejonie Szamotuł niespodziewanie dokonano odkrycia pierwszej lokacji miasta w miejscu (Pietrzak, Rączkowski, 2006). Odkrycie to było efektem archeologicznego rekonesansu lotniczego. Na polu uprawnym dojrzewające zboże ujawniło rozplanowanie zabudowy średniowiecznego miasta. Zagłębione części budynków mieszkalnych (fundamenty, ślady po słupach czy piwnice) widoczne są na zdjęciu lotniczym jako zielone plamy na tle żółknącego zboża. Szczegółowa interpretacja archeologiczna zrektyfikowanego zdjęcia lotniczego (rys. 1B) pozwoliła na wykonanie szczegółowego planu miasta. Unikatowość tego stanowiska archeologicznego

spowodowała, że zostało ono wpisane do rejestru zabytków i podlega obecnie pełnej ochronie konserwatorskiej. Decyzją Wielkopolskiego Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków nie będą tam prowadzone żadne prace ziemne (w tym archeologiczne badania wykopaliskowe). W konsekwencji bardziej szczegółowe rozpoznanie zabudowy miasta oraz struktury każdego elementu tej zabudowy będzie możliwe tylko przy wykorzystaniu metod nieinwazyjnych (np. magnetometrów, georadarów itp.).

Z dotychczasowego rozpoznania archeologicznego wynika, że obiekty archeologiczne zalegają bezpośrednio pod warstwą orną (o miąższości do około 0.60 m) i sięgają do poziomu około 1.70 m poniżej stropu warstwy ornej. Badania sondażowe wykonane bezpośrednio przed wpisem tego stanowiska do rejestru zabytków pozwoliły zidentyfikować strukturę wypełniska widocznych na zdjęciach lotniczych obiektów. Na to wypełnisko składa się w znaczącym stopniu węgiel drzewny po spalonych konstrukcjach drewnianych, polepa (czyli wysuszona i częściowo przepalona glina oblepiająca te konstrukcje) oraz liczne fragmenty naczyń ceramicznych (Dernoga *et al.*, 2007). Można sądzić, że ewentualne starsze struktury archeologiczne (jeżeli takie zalegają pod średniowiecznym miastem) nie powinny znajdować się poniżej 2-2.50 m.

## 2. CEL BADAŃ

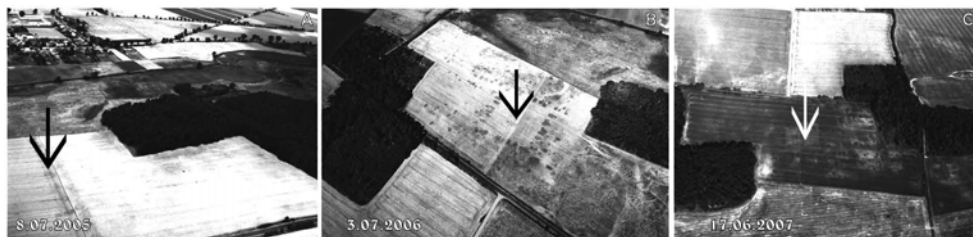
Rozpoznanie stanowiska archeologicznego przy zastosowaniu jednej metody nigdy nie prowadzi do w pełni wiarygodnych i satysfakcjonujących wyników. Istotne jest zatem integrowanie badań na konkretnym obiekcie z wykorzystaniem rozmaitych metod. Każda z nich bowiem pozwala na rejestrowanie specyficznych cech obiektu archeologicznego. W konsekwencji wyniki pozwalają na zadawanie dodatkowych pytań i poszukiwanie nowych rozwiązań. W przypadku prezentowanych badań celem podstawowym było przetestowanie możliwości identyfikacji obiektów archeologicznych przy pomocy georadaru MALA ProEx i skonfrontowanie ich z wynikami rekonesansu lotniczego.

## 3. METODA BADAŃ

### 3.1. Zdjęcia lotnicze jako metoda badań archeologicznych

Odkrycie pierwszej lokacji miasta było efektem przypadku, gdyż zasadniczym celem poszukiwań była lokalizacja kościoła p.w. św. Marcina w dawnej wsi Stare Szamotuły. Zarówno wieś, jak i kościół dziś już nie istnieją, a ostanie wzmianki o ruinach kościoła pochodzą z początku XIX wieku. Wcześniejsze archeologiczne badania powierzchniowe oraz wykopaliskowe nie pozwalały na jednoznaczną identyfikację miejsca, gdzie znajdowała się wieś i kościół. Brak efektywności tradycyjnych metod archeologicznych skierował uwagę badaczy w stronę rzadko w Polsce stosowaną metodę wykorzystywania zdjęć lotniczych (Pietrzak, Rączkowski, 2009). Pierwsze zdjęcia lotnicze wykonane zostały w lipcu 2005 roku i nie przyniosły żadnych pozytywnych rezultatów (rys. 1A). Rok 2006 okazał się znacznie lepszy (rys. 1B). Z tym, że w rejonie, gdzie oczekiwano śladów kościoła i wsi zarejestrowano obraz jednoznacznie wskazujący na typowy układ przestrzenny miasta.

Ujawnianie się tzw. wyróżników roślinnych reprezentujących zalegające pod powierzchnią ziemi obiekty archeologiczne jest efektem wielu złożonych czynników. Do najważniejszych należą rodzaj uprawy, liczba opadów, rodzaj gleby, stan zachowania obiektów archeologicznych (Wilson, 1982). Nie da się zatem jednoznacznie przewidzieć gdzie i kiedy ujawnią się wyróżniki roślinne wskazujące na obecność obiektów archeologicznych (rys. 1C). Nie może więc dziwić, że tylko rekonesans w 2006 roku dał znakomity obraz prawie całego miasta.



Rys. 1. A – Zdjęcie lotnicze ukośne wykonane 08.07.2005 roku – nieczytelne wyróżniki roślinne, B – zdjęcie lotnicze z 03.07.2006 roku z widocznym układem przestrzennym miasta, C – zdjęcie lotnicze z 17.06.2007 roku wyróżniki roślinne słabo skontrastowane

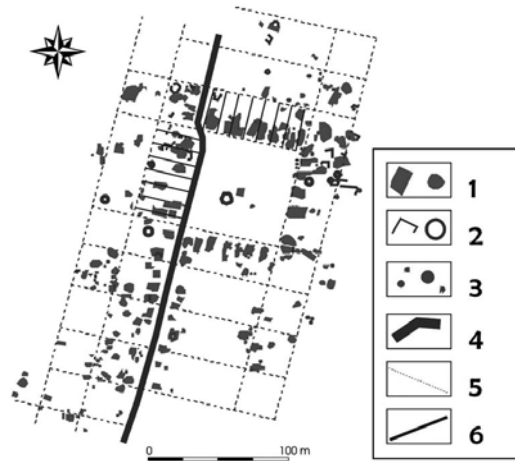
Zdjęcia lotnicze wykonywane w trakcie takiego rekonesansu lotniczego są zdjęciami ukośnymi, czyli cały obraz jest zniekształcony. W celu umożliwienia pracy z takimi zdjęciami dokonuje się ich rektyfikacji. W naszym przypadku wykorzystany został specjalistyczny program AirPhoto (Scollar, 2002). Pozwala on z jednej strony na „wyprostowanie” zdjęcia, a z drugiej strony wygenerowanie plików, które mogą być otwierane w programach typu GIS (w naszym przypadku w MapInfo).

Zrektyfikowane zdjęcia wykonane w kilku sezonach pozwoliły na przygotowanie w miarę szczegółowej interpretacji rozplanowania miasta i wykonania pomiarów przestrzennych przedstawionych w postaci kalki fotointerpretacyjnej (rys. 2).

### **3.2. Georadorowa metoda badań**

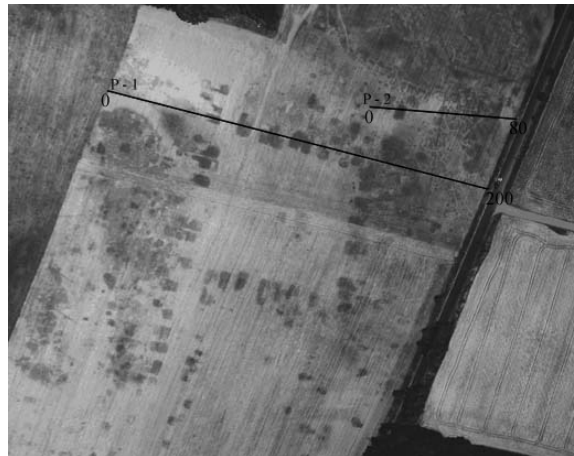
Prowadzenie wykopaliskowych badań archeologicznych prowadzi do zniszczenia istniejących struktur zabytkowych. Nic więc dziwnego, że coraz częściej podejmuje się decyzje o aplikacji metod nieinwazyjnych w badaniach szczególnie cennych obiektów zabytkowych. W badaniach pierwszej lokacji Szamotuł już zastosowano metodę elektrooporową oraz magnetyczną (Dernoga *et.al.*, 2007). Kolejna próba uzyskania dodatkowych informacji o tym mieście wiąże się wykorzystaniem georadaru. Zastosowano georadar MALA ProEx, który należy do grupy radarów powierzchniowych.

Zrektyfikowane i posiadające georeferencje zdjęcia ukośne pozwoliły wyznaczyć profile do pierwszych pomiarów georadarem. Pomiar georadarem wykonano 1 kwietnia 2009 roku po wyznaczonych dwóch profilach. Określone ze współrzędnych płaskich punkty dla profili pomiarowych ilustruje rys. 3.



Rys. 2. Kalka fotointerpretacyjna wykonana na podstawie zrektyfikowanych zdjęć lotniczych ukazująca układ przestrzenny pierwszej lokacji średniowiecznego miasta w Szamotułach (1. budynek, piwnica, jama., 2. rów, fundament., 3. jama po słupie., 4. główna ulica miasta., 5. hipotetyczny plan ulic i kwartałów., 6. granice parceli przyrynkowych). Oprac. W. Rączkowski

W trakcie pomiarów użyto dwóch anten ekranowanych o zakresach 100 MHz i 250 MHz. Podczas pomiarów w terenie wykorzystano oprogramowanie GroundVision 2.0. Najbardziej czytelny obraz uzyskano przy zastosowaniu anteny 100 MHz przy następujących ustawieniach (tab. 1):



Rys. 3. Zdjęcie lotnicze z wyznaczonymi profilami 1 i 2 do pomiarów georadarem

Tabela 1. Ustawienia przy pomiarze anteną 100 MHz

|  |       |
|--|-------|
| częstotliwość próbkowania sygnału rejestrowanego (MHz) | 5231  |
| liczba próbek  | 650   |
| liczba złożów  | 8     |
| okno czasowe (ns)                                      | 124,3 |
| odległość między trasami (m)                           | 0,099 |
| częstotliwość próbkowania sygnału rejestrowanego (MHz) | 5231  |
| liczba próbek  | 650   |
| liczba złożów  | 8     |
| okno czasowe (ns)                                      | 124,3 |
| odległość między trasami (m)                           | 0,099 |

W celu uzyskania szczegółowego obrazu warstwy przypowierzchniowej przeprowadzono pomiar przy użyciu anteny 250 MHz. Podczas pomiaru zastosowano następujące ustawienia (tab. 2):

Tabela 2. Ustawienia przy pomiarze anteną 250 MHz

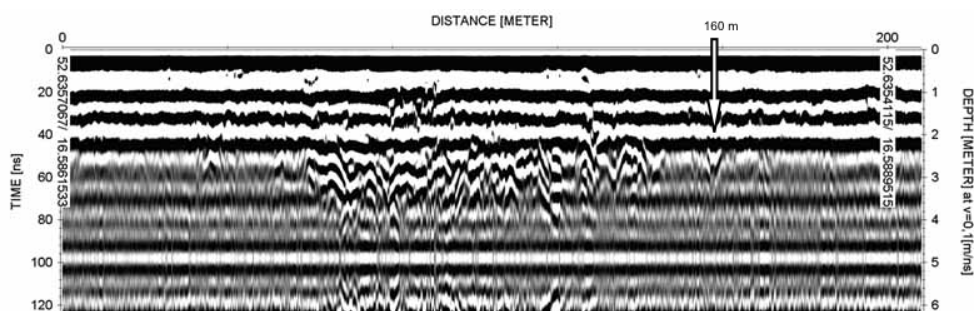
|  |        |
|--|--------|
| częstotliwość próbkowania sygnału rejestrowanego (MHz) | 5978,3 |
| liczba próbek  | 246    |
| liczba złożów  | 8      |
| okno czasowe (ns)                                      | 41,1   |
| odległość między trasami (m)                           | 0,099  |

Obrazy uzyskane z pomiarów terenowych przetworzono za pomocą programu ReflexW 5.0 używając następujących filtrów:

- dekonwolucja: filtr ten pozwala na usunięcie wpływu takich czynników jak tłumienie fali elektromagnetycznej w ośrodku geologicznym i zakłóceń wynikających z niejednorodności ośrodka (Karczewski, 2007);
- usuwanie średniej ruchomej (dewow) mające na celu usunięcie niskoczęstotliwościowych zakłóceń (Karczewski, 2007);
- wyrównanie rozbieżności (divergence compensation) – filtr umożliwiający wyrównanie strat pochodzących z rozbieżności geometrycznej (Sandmeier, 2008);
- usuwanie stałej składowej sygnału georadarowego (DC-shift) wykonane ze względu na możliwość przesunięcia linii odniesienia danych pomiarowych (Karczewski, 2007).

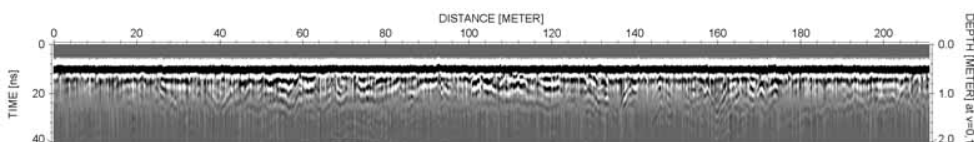
#### 4. WYNIKI BADAŃ GEORADAROWYCH

Profil nr 1 wykonano w oparciu o współrzędne uprzednio wyznaczone ze zdjęcia wczytanego do programu Mapinfo (rys. 3), które wynosiły: 16.589169 i 52.635334 dla punktu 1 (200m) i 16.585929 i 52.635735 dla punktu 2 (0 m).



Rys. 4. Echogram obiektów archeologicznych uzyskany przy użyciu anteny 100 MHz na profilu nr 1

Na echogramie wykonanym za pomocą anteny 100 MHz (rys. 4) widoczne są miejsca dawnej lokalizacji podpiwniczonych budynków. Otrzymany sygnał wskazuje na miejsca po istniejących fundamentach, które albo uległy zasypaniu albo zachowały się w postaci wypełnionych odmiennym materiałem mineralnych przestrzeni budynków. Zapis ten można zauważyć w centralnej części profilu nr 1 (60–140 m profilu) (rys. 4). Z prawej strony (na 160 m profilu) widoczna jest struktura w kształcie litery V będąca przypuszczalnie klinem mrozowym lub pozostałością po dawnej sieci melioracyjnej.

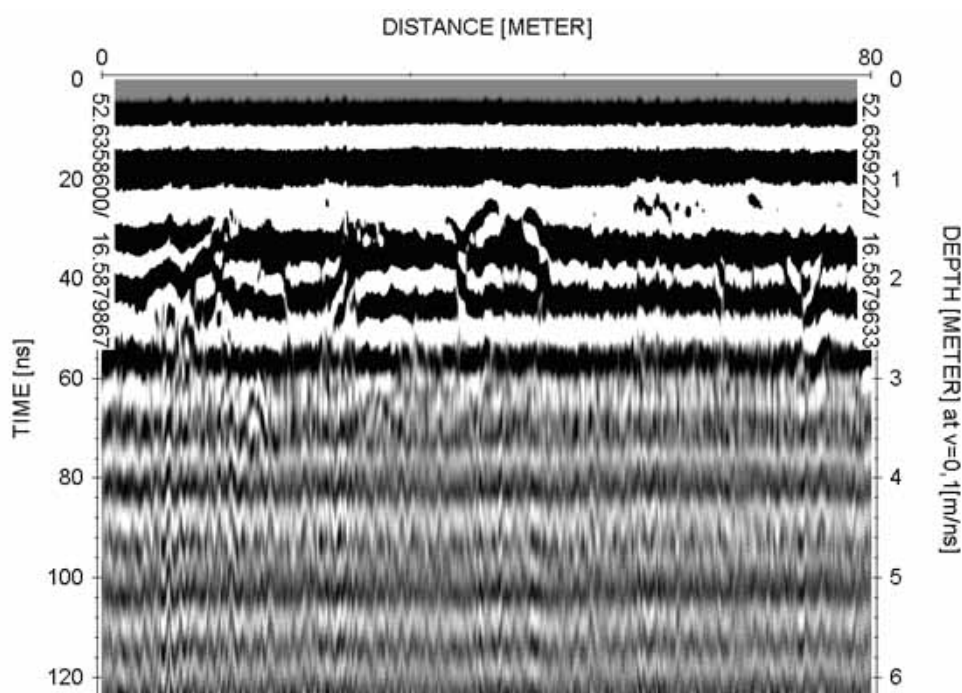


Rys. 5. Echogram warstwy przy powierzchniowej stanowiska archeologicznego uzyskany przy użyciu anteny 250 MHz na profilu nr 1 (współrzędne geograficzne – patrz rys. 4)

Na echogramie będącym efektem pomiaru wykonanego za pomocą anteny 250 MHz również widoczne są ślady po dawnych zabudowaniach. Należy zaznaczyć, że nie są one tak regularnie ułożone jak w przypadku pomiaru anteną 100MHz (rys. 4). Antena 250 MHz charakteryzuje się lepszą rozdzielczością (od 0.05 do 0.5m w zależności od warunków pomiarowych; Karczewski, 2007), lecz mniejszym zasięgiem głębokościowym. Trudno jednoznacznie określić, czy zapis uzyskany anteną 250MHz (rys. 5) odpowiada

głębokościowo obrazowi z anteny 100MHz (rys. 4), czy też stanowi informację z warstw przypowierzchniowych. Należy zaznaczyć, że w przypadku tych pomiarów brakowało odniesienia do zweryfikowania skali głębokości ze względu na różnorodność ośrodków geologicznych (profil glebowy, osady zalegające poniżej oraz pozostałości po starej zabudowie) oraz ze względu na brak rozpoznania geologicznego tego obszaru. Na podstawie dotychczasowych badań nie można zatem precyzyjnie określić, na jakiej głębokości znajdują się widoczne na echogramach obiekty. Istnieje zatem potrzeba badań w postaci systematycznego profilowania co 1 metr, które dadzą odpowiedź w postaci przestrzennych prospekcji warstwowo-trójwymiarowych badanego stanowiska archeologicznego.

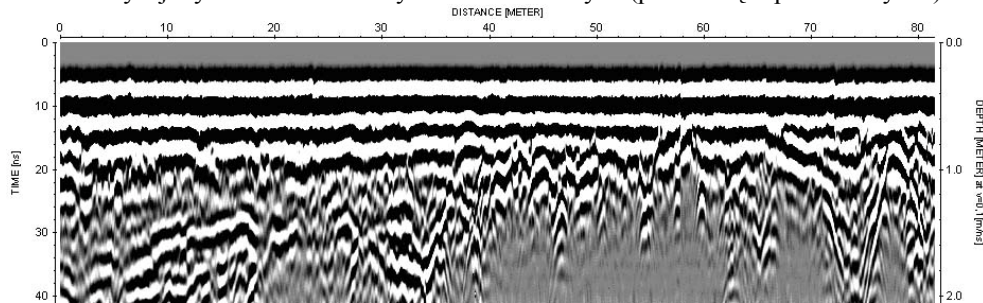
Drugi profil wykonano w oparciu o współrzędne zamieszczone na rys. 3 o współrzędnych punktu 2. 16.589290 i 52.635648 (80m) oraz 16.588170 i 52.635776 dla punktu 1 (0m).



Rys. 6. Echogram stanowiska archeologicznego uzyskany przy użyciu anteny 100 MHz na profilu nr 2

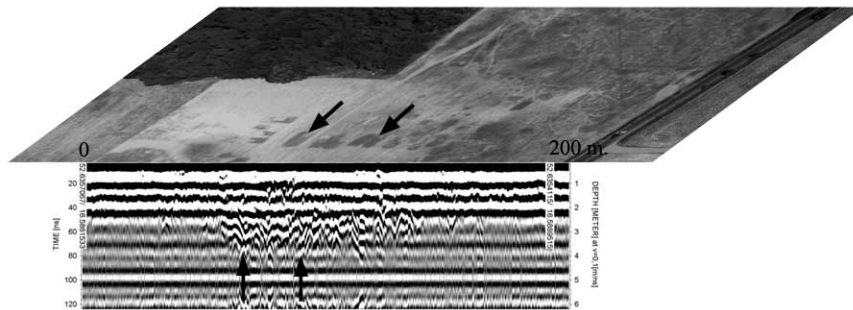
W przypadku profilu nr 2 (pomiar anteną 100 MHz; rys. 6), ślady budynków są mniej regularne i słabiej widoczne w porównaniu z profilem nr 1 (rys. 4 i 5). W prawej części profilu (70 i 80 m profilu) widoczne są struktury klinów mrozowych. Dużo bardziej czytelny obraz uzyskano w tym przypadku stosując antenę 250MHz (rys. 6). W obrębie lewej części profilu (0–40m) widoczne są wyraźne refleksy, które, podobnie jak na profilu

nr 1, mogą być śladem dawniej istniejących obiektów archeologicznych. Bardzo wyraźnie widać tu wyżej wymienione struktury klinów mrozowych (prawa część profilu – rys. 6).



Ryc. 7. Echogram warstwy przypowierzchniowej stanowiska archeologicznego uzyskany przy użyciu anteny 250 MHz na profilu nr 2 (współrzędne geograficzne – patrz rys. 3)

Wyżej przedstawione profile radarowe określone jako echogramy rys. 4, 5, 6, 7 zostały przypisane do zrektyfikowanego zdjęcia lotniczego z 2006 roku (rys. 8). W wyniku tego zabiegu przywiązano ślady obiektów archeologicznych do ugięcia sygnału radarowego.

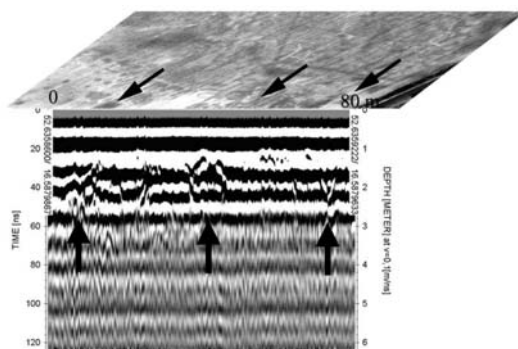


Rys. 8. Kompozycja zdjęcia lotniczego i echogramu pozwalająca na powiązanie ugięcia sygnału radarowego z widocznymi w formie wyróżników roślinnych obiektami archeologicznymi

Przestrzeń, którą można określić jako rynek miasta jednoznacznie uwidoczniła się na echogramie przy użyciu anteny 100 MHz (profilu nr 1). Z zastosowanej procedury badawczej wynika, że sygnał radarowy „widzi” zmianę struktur litologicznych, które odpowiadają obecności obiektów archeologicznych. Tym samym uzyskaliśmy potwierdzenie ich obecności niezależną metodą. Stopień ugięcia sygnału pozwala również na szacowanie głębokości poszczególnych obiektów.



Podobną procedurę zastosowano przy porównaniu rezultatów drugiego profilu (rys. 9) o długości 80 metrów przebiegający na północ od profilu nr 1 (rys. 8). Ze względu na złożoność treści obiektów widocznych na zdjęciu lotniczym w postaci zmienności litologicznej spowodowanej występowaniem struktur peryglacialnych w postaci klinów mrozowych, śladów podziemnej sieci melioracyjnej i obiektów archeologicznych, widoczne są ugięcia sygnału na linii obiektu(a), melioracji gdzie sygnał radarowy zdecydowanie uwidoczniał obecność wody w sieci melioracyjnej oraz klin mrozowy na około 70 metrze profilu.



Rys. 9. Zdjęcie lotnicze z przelozonym do trasy profilu 2 echogramu z anteny 100 MHz

## 5. WNIOSKI

Pilotażowe badania georadarowe przeprowadzone na obszarze średniowiecznego miasta pozwoliły na niezależną identyfikację obiektów archeologicznych. Równocześnie szczegółowa analiza sygnału pozwala na pozyskanie dodatkowych informacji, których nie da się pozyskać innymi metodami nieinwazyjnymi (np. głębokość). Zastosowana procedura przygotowania materiału wyjściowego (tu ukośne zdjęcia lotnicze) pozwala na precyzyjne pozycjonowanie linii profilowych radaru i zsynchronizowanie z pomiarami GPS. Dalsze badania powinny iść w kierunku georadarowej tomografii całego stanowiska (Soldovieri, Orlando, 2008) czyli uzyskania obrazu przestrzenno-głębokościowego.

## 6. LITERATURA

Dernoga M., Herbich T., Pietrzak R., Rączkowski W., Święch D., 2007, Discovering medieval Szamotuły (Wielkopolska region): a multidisciplinary approach. *Studijné Zvesti*, 41, s. 131–134.

Karczewski J., 2007, Zarys metody georadarowej. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków.

Pietrzak R., Rączkowski W. 2006, Zaginione miasto – historyczna zagadka i zdjęcia lotnicze. *Archeologia Żywa*, 4(38), s. 15–20.

Pietrzak R., Rączkowski W., 2009, Od przybytku głowa... boli. O kontekście i konsekwencjach odkrycia pierwszej lokacji Szamotuł, [w:] Szamotuły. Karty z dziejów miasta, t. 2, (red.) I. Skierska. Muzeum Zamek Górków w Szamotułach, Szamotuły, s. 9–26.

Sandmeier K.J., 2008, ReflexW Version 5.0. Windows 9x/NT/2000/XP-program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data.

Scollar I., 2002, Making Things Look Vertical, [w:] *Aerial Archaeology. Developing Future Practice*, (red.) R.H. Bewley, W. Rączkowski. IOS Press, Amsterdam, s. 166–172.

Wilson D., 1982, *Air Photo Interpretation for Archaeologists*. Batsford, London.

Soldovieri F., Orlando L., 2008, Novel tomographic based algorithms and processing strategies for multi-frequency antennas GPR measurements, [w:] *Advances on Remote Sensing for Archaeology and Cultural Heritage Management*, (red.) R. Lasaponara, N. Masini. EARSeL, CNR, Rome, s. 131–134.

**THE APPLICATION OF GROUND PENETRATING RADAR IN THE IDENTIFICATION OF ARCHAEOLOGICAL STRUCTURES – A MEDIEVAL TOWN OF SZAMOTUŁY**

KEY WORDS: GPR, non-invasive archaeology, Szamotuły, aerial survey

SUMMARY: The place where the medieval town of Szamotuły had been located was discovered in 2006. Remains of the town were identified during an archaeological aerial survey. That unique discovery has been listed on the national register of historic places and, consequently, only non-invasive investigations are allowed there. Those investigations are based on systematic aerial reconnaissance, as well as the acquisition of new data by applying remote sensing methods, such as geomagnetic or resistivity methods. Each method provides information on different aspects of buried archaeological features. First results of the pilot project of the site survey using GPR are presented herein. Results are compared with the interpretation of rectified aerial photographs. The positive output allows planning further surveys with the application of GPR to obtain a tomographic image of that medieval town

Dr Andrzej Kijowski  
e-mail: [kij@amu.edu.pl](mailto:kij@amu.edu.pl)  
tel. +61 8296251  
fax +61 8296230

Dr Marcin Słowik  
e-mail: [slowikgeo@poczta.onet.pl](mailto:slowikgeo@poczta.onet.pl)  
tel. +61 8296223  
fax +61 8296216

Dr hab. Włodzimierz Rączkowski, prof. UAM  
e-mail: [wlodekra@amu.edu.pl](mailto:wlodekra@amu.edu.pl)  
tel. +61 8294798  
fax +61 8294788