© by the Institute
of Forensic Research

Problems of Forensic Sciences 2011, vol. LXXXVII, 253–263

ISSN 1230-7483

THE USE OF SEARCH TECHNIQUES EMPLOYING GROUND-PENETRATING RADAR IN FORENSIC MEDICINE

Andrzej OSSOWSKI, Piotr BRZEZIŃSKI, Jarosław PIĄTEK, Barbara POTOCKA-BANAŚ, Tomasz JANUS, Katarzyna JAŁOWIŃSKA, Mirosław PARAFINIUK

Department of Forensic Medicine, Pomeranian Medical University, Szczecin, Poland

Abstract

The report presents the process of searching for World War II mass graves. In the introduction, the authors briefly discuss the principles of ground-penetrating radar operation and the effect of technical parameters of the device on its usefulness in particular types of investigations. Furthermore, the report outlines the historical background that served as the basis for selecting the site to be searched. The selection of a site of interest from the research point of view required verification of preserved eyewitness accounts of participants in the events, on the basis of archival documents and topographic maps dating back to World War II. The investigated case was difficult in view of a lack of any major material culture artefacts in the vicinity of the human remains and the extensive area to be investigated. The lay of the land and the type of substratum favoured the use of ground-penetrating radar. Preliminary investigations performed using classic single-coil metal detectors and double-antenna detectors yielded no results. The employed method and appropriate selection of an interdisciplinary team of investigators helped in locating the burial place of Red Army soldiers killed in action between April 20 and April 23, 1945. Until the research was carried out, the site was unknown; in the future, it will be investigated and the remains exhumed.

Key words

GPR; Georadar; Exhumation; War graves.

Received 12 April 2011; accepted 2 September 2011

1. Introduction

The method of use of electromagnetic waves to locate objects situated underground was developed theoretically as early as the beginning of the 20th century. However, it was only employed in practice in the 1970's, when American physicists participating in a military research program aiming at developing nuclear weapons constructed the first device called ground-penetrating radar (GPR). Progress in electronic engineering and miniaturization of subassemblies resulted in increasing construction and usability possibilities of such devices. Collection and processing of immense numbers of data obtained in the course of measurements was greatly aided by computers. The presently employed ground-penetrating radars are complex instruments equipped with software that allows for automatization of numerous operations and facilitates interpretation of results (Figure 1) [10].

The simplest ground-penetrating radar consists of a transmitting and receiving antenna. The transmitting antenna sends an electromagnetic energy impulse of a given frequency that depends on the type of the antenna itself. Passing through the investigated centre, the wave is attenuated, dispersed and reflected on the boundaries of various materials (centres). The aim of the receiving antenna is to register the reflected wave (Figure 2) [3]. In order to obtain a cross-sectional image of the investigated centre, serial measurements are taken. When the device (antennas) is moved in one

Fig. 1. GPRS SIR-3000 (GSSI, USA) employed during excavation works in Rzepczyno, north-western Poland.

direction, an image is generated that is termed "georadar profile" [7]. The contrast on the registered image depends on the relative difference between dielectric constants of neighbouring centres (Figure 3). The dielectric constant, sometimes referred to as "dielectric permittivity" (relative) describes dielectric bodies in an electric field and may be briefly characterized as the ratio of the permittivity of a given body to the vacuum permittivity (the value approximates to 1) [8]. Dielectric constants determined for searches for ground burial sites are within the range of 4 (dry sand) to as much as more than 20 (moist soil) [7].

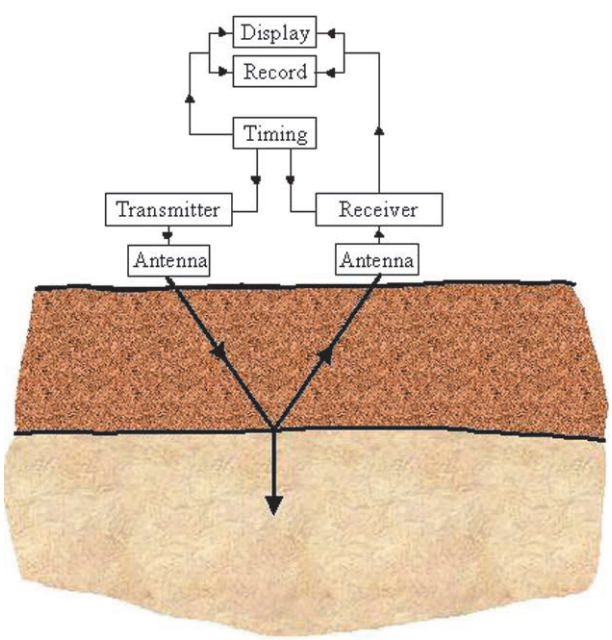

Fig. 2. A simplified scheme of GPR [2].

At present, investigators use antennas with frequencies ranging from 10 MHz to several GHz. The use of a given type of antenna depends mostly on the object that is sought and its physical properties. It may be assumed, however, that the higher the antenna frequency is, the smaller objects can be detected; nevertheless in such a case, the wave is markedly attenuated and the measurement range decreases. 1000 MHz and higher frequency antennas are employed in investigations of underground installations situated at shallow depths or of steel reinforcement in concrete constructions. On the other hand, low-frequency antennas are employed in geology [7].

For the purpose of archaeological and forensic investigations, devices are employed equipped with antennas with frequencies ranging from 100 to 800 MHz. In practice, the range of measurements and their precision depend on numerous factors, such as the dielectric constant, conductance, humidity or porosity of a given centre.

Searching for graves or field burial sites constitutes one of the most difficult challenges when working with georadar. As a rule, there is no strong contrast between centres (differences of relative dielectric permittivity values); moreover, obtaining satisfactory results requires preparation of a grid with density of no less than 0.5 m and collecting georadar profiles of the investigated area in two planes; subsequently, data are processed using specialist software, which generates a three dimensional image. Based on the experiment of the present authors, only such an image can be evaluated and appropriately interpreted. Whereas when searching for underground installations, tanks or foundations, satisfactory results may be achieved even when only single profiles are available, when attempting to locate burials, collection of a maximum number of data is necessary.

The georadar employed by the Department of Forensic Medicine, Pomeranian Medical University in Szczecin is the device that is most commonly used by forensic and archaeological search teams, as well as by DVI (Disaster Victim Identification) teams. From the available data, it transpires that, to date, georadars have only been sporadically employed in forensic and archeological investigations in Poland and the devices as a rule did not possess parameters required for such a purpose. In the majority of cases, geological georadars have been employed, without generating three dimensional scans and with use of inappropriate antennas.

The development of georadar techniques has made the devices an indispensible element of equipment at the disposal of search-exhumation teams and DVI or-

ganizations. In the 21st century, it is difficult to imagine that any sites of mass catastrophes will be left unexamined by such devices. This is particularly true for aviation-related disasters, where both particular elements of the plane wreck and bodies may be buried deep underground. In such cases, it is necessary to perform comprehensive investigations using georadars, magnetometric probes and metal detectors. The latter are so far the only devices that have been commonly employed. Nevertheless, their effectiveness in searching for graves is low, the major limitation being their range of operation.

The present report describes an attempt at locating a World War II mass grave using an SIR-3000 GSSI georadar (Geophysical Survey Systems Inc.). The device has been designed for field work, where the most important considerations are relative ease of operation and mobility. To meet the needs of forensic medicine, crime detection and archaeology, the georadar is equipped with a 400 MHz antenna and software allowing for real time investigations and two- and three dimensional analyses. An SIR-3000 georadar consists of a cart with an antenna suspended below and a computer coupled with the antenna [7].

Prior to investigations, preliminary archival research was carried out along with field studies (interviews). Based on witness accounts and historical publications, an area was selected where the heaviest fighting occurred. A search of archives produced lists of fallen Red Army soldiers, without any more precise information as to the site of their burial, as well as documents pertaining to exhumations performed by the Red Cross in the 1940's and 1950's. From a simple comparison, it transpired that at least several dozen soldiers were still buried in field graves. Interviewing local inhabitants did not produce expected results – only one individual indicated the region of an old evangelical cemetery as the possible site of soldiers' graves. In the area of the mentioned cemetery, preliminary scanning of an arbitrarily selected site was performed in order to establish the settings of the georadar and determine the stratigraphy of subsoil layers. The sandy hill turned out to show an almost geometrical, undisturbed arrangement of layers. Determination of the above data greatly facilitated the work.

Investigations carried out using metal detectors and a magnetometric probe failed to indicate the burial sites. Subsequently, a georadar was employed. The first stage was real-time scanning and selection of sites where any disturbances of soil structure indicative of excavation were observed. Thus, a region was selected that was subjected to detailed georadar scanning (Figure 3). The area containing the burial site was girded with 25 m × 5 m scans made every 0.5 m. Based on the preliminary analysis of the images, test excavations were done.

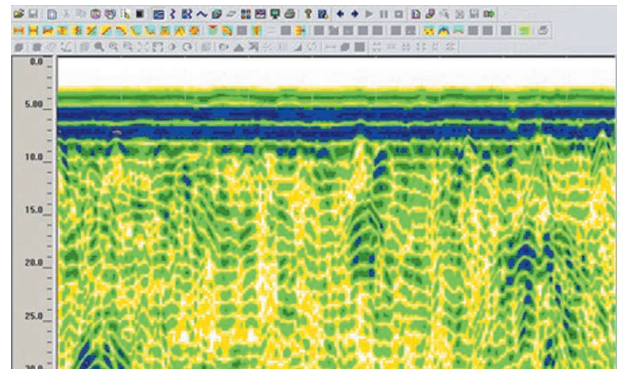

Fig. 3. Georadar scan – parabolas visible on the scans are the echoes of coffin (burials).

2. Case presentation – historical outline

On March 20, 1945, troops of the Soviet 1 Byelorussian Front under Marshal Zhukov completed their operations in the West Pomerania region. The German 3rd Tank Army was pushed to the western banks of the Oder. Starting at the beginning of April 1945, the Germans prepared a defence along the river. However, the fighting abilities of the Oder Corps were to a large extent illusory, since all reserve troops were being relocated in the direction of Berlin. Besides, the Oder valley, at places 4 km wide, provided a false sense of security. An attack was expected – and rightly so – along the axis of a highway crossing Kołbaskowo. This sector was manned by the improvised 610th Division z.b.v., consisting of a mix of assorted sub-units of negligible fighting value. In the area of bridges crossing the motorway, along the line of the expected attack, was stationed the 1st SS Police Brigade, a newly formed unit of Balkan and Hungarian Volksdeutsche soldiers. In Szczecin there were a few garrison and fortress troops, and to the west of the town, the 281st Infantry Division, which was undergoing reorganization. In the area of Police was the 549th Volksgrenadier-Division, containing the only large fighting units capable of defence. Later, the SS battlegroup "Müller" group was moved to the region of Pomellen; the group consisted of several battalions formed from soldiers serving in the 27th SS Volunteer Grenadier Division Langemarck and the 28th SS Volunteer Walloon Grenadier Division [13].

In early April, units of the Soviet 65th Army started to reach the Oder from Gdańsk, beginning the proc-

ess of replacing the 61st Army that was departing for Berlin. As early as April 16, 1945, the Soviets began an offensive operation in the Międzyodrze area; by April 19, 1945, they had pushed German posts across the West Oder. At approximately 8:00 a.m. on April 20, 1945, Soviet artillery commenced a 45-minute artillery bombardment. Under cover of fire, the first units commenced crossing the river. Within 2 hours, soldiers of the Soviet 18th Rifle Corps had taken control of the entire stretch planned to be crossed. German troops of the 1st SS Police Rifle Brigade were capable of resisting only locally and then withdrew with heavy losses in the direction of Kołbaskowo and Siadło Górne [1]. Only in the afternoon of April 20, 1945 did the German command of the sector appreciate that the situation was grave and gave orders to soldiers of reserve units. The 281st Infantry Division and the 549th Volksgrenadier-Division commenced marching to points of departure to launch an attack, which occurred only in the evening hours.

The only available force in the area was the SS Battle Group commanded by Hauptsturmführer Henri Derricks and consisting of a weak Walloon battalion, two Flemish battalions, an assault battalion of the 3rd Tank Army and the 6th squadron of self-propelled tank destroyers. In the early afternoon, the group commenced a counterattack on Kamieniec and Moczyły from the direction of two villages – Pomellen and Kołbaskowo. The Flemish charged on the left wing and stopped the Soviets in Kołbaskowo and after a fierce battle pushed the enemy from the village near Wilhelmshohe manor. The Walloon battalion attacked in the centre; by the evening, the troops had pushed back the Soviet 47th Rifle Regiment (a part of the 15th Rifle Division) and pushed a wedge deep into enemy lines to the village of Moczyły. On the right wing, the delayed assault battalion of the 3rd Panzer Army attacked, capturing Kamieniec and pushing the Soviets to the riverbank in the vicinity of Kamionka hamlet. At night, there was fierce combat in the regions of Górne and Dolne Siadło, German units of the 281st Infantry Division entered the battle and pushed the Soviets to the riverbank and hills situated along the Oder near Siadło Dolne. In the morning, the clash was even fiercer. During the night, the Soviet 65th Army managed to get other troops and equipment across the Oder.

In the region of Moczyły, the jointly attacking Walloon-Flemish units were not successful in combat despite heavy losses. The frontline was stabilized along the dirt road between Kamieniec and Kołbaskowo. It was there that – until April 23 – the Flemish and the Walloons repelled successive assaults of the Soviet 15th and 69th Rifle Divisions [4]. On April 24, 1945, it became obvious that the Soviets had broken through the frontline near Kołbaskowo and Smolęcin and were marching westward. Further defence of a section that was losing its importance had become pointless. Due to lack of communication with headquarters, lower level commanders reached an independent decision to retreat.

Both sides involved in the fighting suffered heavy losses; fallen soldiers were buried in temporary graves in the battlefield regions. The burial site investigated by the present authors was situated in the centre of operations of the SS Battle Group commanded by Henri Derricks. Investigations performed to date have allowed location of several dozen burial sites of Soviet and German soldiers. The graves were of a sanitary burial nature, with the bodies thrown into shallow pits. In the majority of cases, shooting pits (foxholes), trenches or shell craters were used for this purpose.

3. Material and methods

During the investigations, the authors employed an SIR-3000 georadar manufactured by GSSI (the United States) with a 400 MHz antenna. The dielectric constant was set at 8.0, data were collected with a frequency of 50 scans per second. Data collection was performed using a central unit with a 32-bit Intel StrongArm RISC, 206 MHz, processor with TerraSIRch and Quick3D software, while data analysis was done using RADAN 6.5.2.2 software. The above software was also supplied by the GSSI (U.S.). The dielectric constant was set based on tables attached to the instruction manual provided by the manufacturer. The manual gives the mean value for a relative dry substratum as 8.0. The established frequency of 50 scans per second is also recommended by the manufacturer for archaeological investigations. In keeping with the experience of the authors, both the values produce satisfactory results and need to be modified only in rare instances.

The analyzed burial site was situated in the region of Moczyły village in Kołbaskowo district. The investigated area was selected based on archival and historical data. Having analyzed records, the authors observed that the number of fallen Red Army soldiers established based on data originating from reports of losses (deaths) did not tally with the number of soldiers exhumed after World War II in the 1940's and 1950's. Historical studies enabled selection of a region where the Soviet army suffered the heaviest losses. The analysis of archival data demonstrated that in the

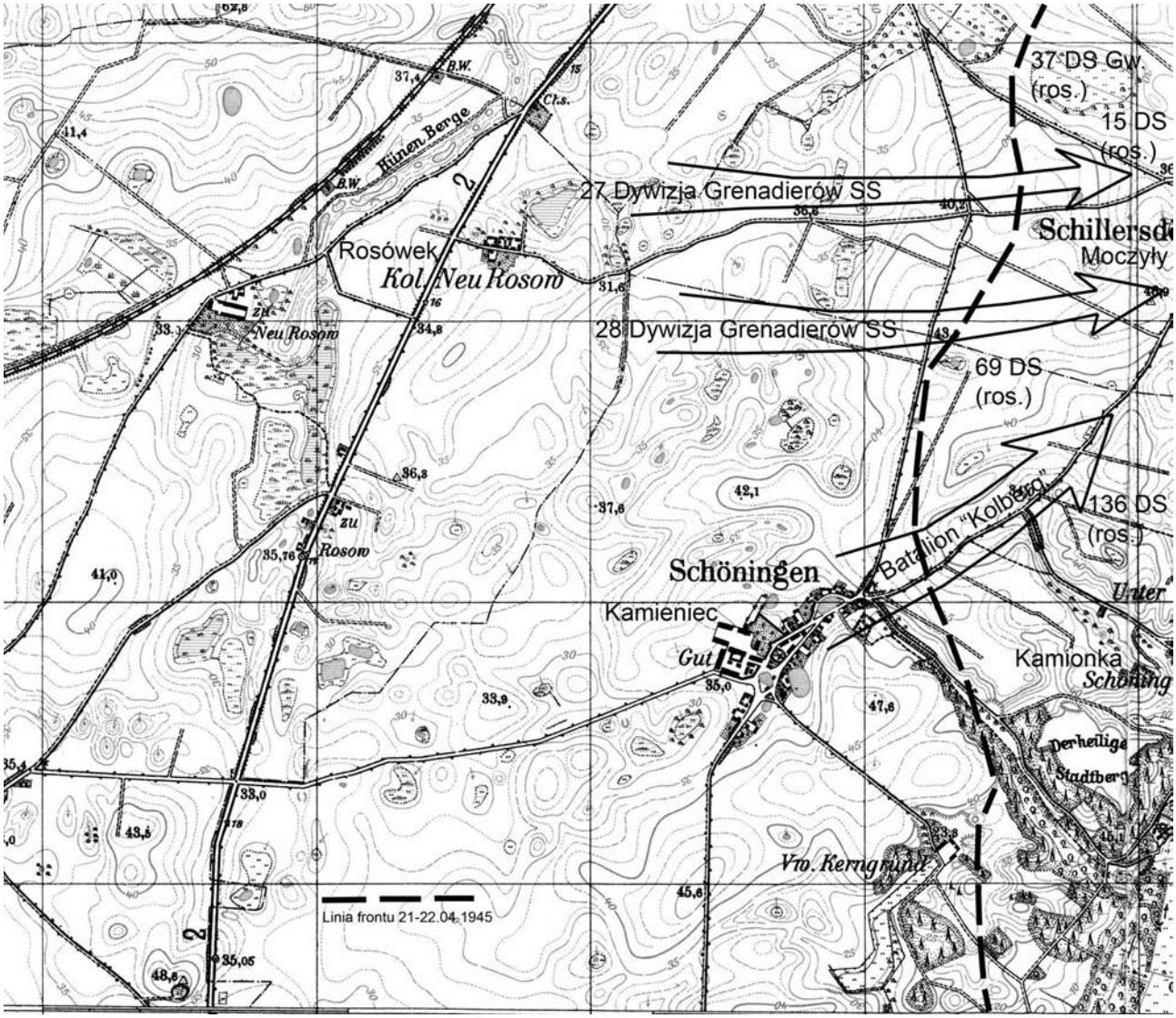

Fig. 4. Frontline south of Szczecin, April 20–22, 1945.

village of Moczyły, a large mass grave was exhumed, which indicated that the majority of soldiers should have been buried outside the village.

Another site where the Red Army sustained heavy losses was a boggy ravine extending westward from the village of Moczyły. In the vicinity, there is a hill with an old evangelical cemetery on top. The next stage was conducting investigations in the area of the cemetery. A preliminary search of the area by metal detectors yielded no results. The authors failed to detect small metal objects (uniform buttons, tent buttons and small coins) that are commonly present on the surface in the region of putative burial sites.

Subsequently, systematic investigations employing a georadar were initiated. The authors employed a 0.5 m scan grid, which is the minimum distance when working with a 400 MHz antenna, which follows from the basic wave equation $V = f \cdot \lambda$, where V is the wave speed, f is its frequency and λ is the wavelength. It can be easily calculated that, assuming the wave speed for air (vacuum), the wavelength equals 0.75 m. Assuming a lower wave speed in the ground, we will arrive at a shorter wavelength. Scanning using intervals smaller than the wavelength is pointless, since data become duplicated. On the other hand, using a grid of a density value of say, 1 meter, decreases chances of detecting smaller and weaker anomalies.

Scanning performed in an arable field situated on the east side of the old cemetery demonstrated numerous continuous zones upsetting the parallel layer arrangement. Close observation of the ground showed small bone fragments on the surface, most likely

originating from shallow burial sites, in all probability damaged by agricultural equipment. Preliminary scanning with the georadar enabled determination of the size of a possible burial site. Only at this stage was a 0.5 m grid used to examine the area precisely.

Based on a preliminary analysis of the achieved images, test excavations were made in several locations approximately 2 meters apart. All these sites revealed human bone fragments, as well as fragments of fabrics and items of leather kit. Raw scans were combined to form a three dimensional grid by means of RADAN 6.5.2.2 software. The image was clear enough to eliminate the necessity of employing corrective filters constituting inherent elements of the software.

4. Results and discussion

Analysis of the site demonstrated two anomalies (disturbances of ordered ground structure visible on the georadar screen) situated in the 6 and 10 m region on the Y-axis. Structural ground disturbances situated between 5.5 m and 8 m were approximately 0.7 m deep. The anomaly was sharply delineated and the layers within the anomaly were interlaced. On the other hand, the anomaly situated between 8.5 m and 11 m of the scan was much shallower, extending down to a depth of approximately 0.5 m (Figure 5). Parallel scans confirmed the presence of disturbances in the same regions, and the width of the anomalies was approximately 1.5 m. Based on the scans, the size of disturbances in the first case was estimated to measure 2.5m × 1.5 m × 0.7 m, while in the case of the other anomaly, the size was 2.5 m × 1.5 m × 0.5 m. The presence of such ground anomalies provided the basis for performing test investigations. Several trenches were dug within and outside the regions of the two anomalies. Within the anomalies, numerous human skeletons were discovered, the arrangement of which indicated a mass grave. Human remains were buried there in a disorganized manner, without coffins. Close to the remains, single (decayed) rounds of 7.62 Tokarev ammunition as well as Red Army uniform buttons were found, which indicated that the buried Soviet soldiers died during the above described war operations. Apart from these small findings, no other objects were seen, which greatly hinders locating such a grave by traditional methods, e.g. using metal detectors. Having performed the investigations, the authors prepared documentation required for the purpose of exhumation, which will be performed at a later date.

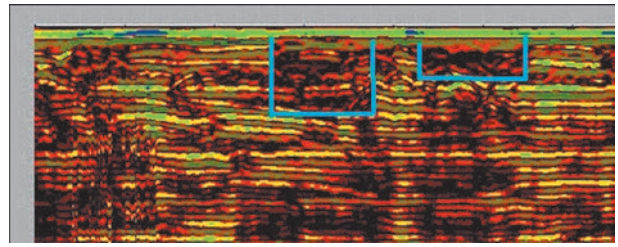

Fig. 5. The scan of the examined object – the two anomalies indicating mass graves are marked on the scan.

Searching for sites of war (field) burials is among the most difficult tasks that may be fulfilled under favorable conditions using a GPR device. Whereas searching for coffin burials and antique tombs does not pose any great problems under standard conditions, determining the presence of skeletonized human remains is extremely difficult [11, 12]. The same observations were made by the present authors during their investigations carried out using a georadar device. A single grave very rarely produces an appropriate anomaly resulting from signal reflection from bony material. In the majority of cases, the investigator may resort to interpreting the presence of a grave cavity based on disturbances of the course of substratum layers [2]. From the research conducted by the present authors, it transpires that in the case of a mass grave, satisfactory results are achieved, since a significant amount of bony material and the probability of the presence of material culture artefacts produce quite distinct anomalies. Their intensity to a large degree depends, nevertheless, on the conditions and degree of human remains decomposition. The same observations were made by other research teams [9]. All investigators that employ the GPR systems share the opinion that each investigation should be preceded by a detailed analysis of conditions characteristic for the selected area and by collection of as large an amount of information as possible on the expected burials [2, 9, 11, 12]. These experiences are in accord with the results of the present investigations. These have demonstrated that application of highly sophisticated technologically devices, such as georadars, to search-exhumation procedures is becoming a necessity. Such devices are already employed by investigative teams worldwide [2, 5, 6, 11, 12]. Armed with more than 10-years' experience on the job and having performed several thousand exhumations, the present authors have ascertained that finding graves, the location of which is not precisely pinpointed and which lack any major metal material culture artefacts, without the help of georadar devices is significantly more difficult or outright impossible.

Without using georadars, appropriate examination of a site of a catastrophe when the number of victims is high and the remains of e.g. an airplane and body fragments are embedded in the ground at various depths is very difficult. No other device than GPR systems offers such opportunities for precise location of elements of this type. Such devices are employed in, among other things, searching for airplane wrecks and human remains dating back to World War II, despite the fact that these air crash sites have already been examined using traditional methods a long time ago. The use of georadar methods yields much better results [5, 6].

The presented historical data point to an extremely complex situation that may be faced by an expert in the regions of former battlegrounds. Thanks to the use of modern electronic devices, such as GPRs and the interdisciplinary nature of research teams, today we are capable of much more effective examinations of burial sites and mass catastrophe areas.

References

1. Batow P., Operacja Odra, Wydawnictwo MON, Warszawa 1966.
2. Conyers L., Ground-penetrating radar techniques to discover and map historic graves, *Historical Archaeology* 2006, 40, 64–73.
3. Davis J., Annan A., High resolution sounding using ground probing radar, *Geoscience Canada* 1986, 13, 205–208.
4. de Bruyne E., Rikmenspoel M., For rex and for Belgium: Lion Degrelle and walloon political & military collaboration 1940–45, Helion & Co., Solihull 2004.
5. Georadar – Ground penetrating radar, Legendy II WŚ – Dąbrowa Tarnowska, http://www.geo-radar.pl/pl/oferta/badania/archeologia/bombowiec/index.htm.
6. Georadar – Ground penetrating radar, Ostatnie sekundy Messerschmitta, http://www.geo-radar.pl/pl/oferta/badania/archeologia/messerschmitt/index.htm.
7. Ground penetrating radar and electromagnetic induction instruments, http://www.geophysical.com/whatisgpr.htm.
8. Marzantowicz M., Dielektryki i stała dielektryczna, http://adam.mech.pw.edu.pl/~marzan/dielektryki.pdf.
9. Mihajlovic S., Belobrkovic V., Miletic V., Georadar test examinations on the place of mass execution – Donja-Gradina, http://www.jasenovac-info.com/cd/biblioteka/gpr_dgradina_eng.pdf.
10. Olhoeft G. R., Ground penetrating radar, http://www.g-p-r.com/introduc.htm.
11. Parish J., Using geophysics to locate unmarked graves to aid in remediation design and construction at an NPL site, Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, March 2008, Proceedings of a meeting held 6–10 April 2008, Philadelphia 2008.
12. Pincus J., Avraham B., Northern Israel Burial Tomb Project Nazareth Vicinity, Mnemotrix Israel Ltd. 2008.
13. Tieke W., Das Ende zwischen Oder und Elbe: Der Kampf um Berlin, Motorbuch-Verlag, Stuttgart 1981.

Corresponding author
Dr Andrzej Ossowski
Pomorski Uniwersytet Medyczny,
Zakład Medycyny Sądowej
ul. Powstańców Wielkopolskich 72
PL 70-111 Szczecin
e-mail: andoss@wp.pl

Problems of Forensic Sciences 2011, vol. LXXXVII, 253–263

ZASTOSOWANIE TECHNIK POSZUKIWAWCZYCH Z UŻYCIEM URZĄDZEŃ GEORADAROWYCH W MEDYCYNIE SĄDOWEJ

1. Wstęp

Metodę zastosowania fal elektromagnetycznych do lokalizowania obiektów znajdujących się pod powierzchnią ziemi opracowano teoretycznie już na początku XX wieku. W praktyce zaczęto ją stosować dopiero w latach 70. ubiegłego wieku, kiedy to amerykańscy fizycy uczestniczący w programie wojskowych badań nad bronią jądrową skonstruowali pierwsze urządzenia nazwane georadarami GPR (Ground Penetrating Radar). Wraz z rozwojem elektroniki i miniaturyzacją podzespołów zwiększyły się możliwości konstrukcyjne i użytkowe tych urządzeń. Do gromadzenia i obróbki wielkiej liczby danych uzyskiwanych podczas pomiarów nieocenioną pomocą stały się komputery. Stosowane obecnie georadary stanowią zespół urządzeń wraz z odpowiednim oprogramowaniem automatyzującym wiele czynności i ułatwiającym interpretację wyników (rycina 1) [10].

Najprostszy georadar złożony jest z anteny nadawczej i anteny odbiorczej. Antena nadawcza wysyła impuls elektromagnetyczny o określonej częstotliwości zależnej od rodzaju samej anteny. Fala, przenikając przez badany ośrodek, ulega tłumieniu, rozproszeniu i odbiciu na granicach różnych materiałów (ośrodków). Zadaniem anteny odbiorczej jest rejestracja fali odbitej (rycina 2) [3]. W celu uzyskania przekrojowego obrazu badanego ośrodka pomiar wykonywany jest wielokrotnie. Kiedy urządzenie (anteny) przemieszczane jest w jednym kierunku, uzyskuje się obraz zwany profilem georadarowym [7]. Kontrast na zarejestrowanym obrazie zależy od względnej różnicy pomiędzy stałymi dielektrycznymi graniczących ze sobą ośrodków (rycina 3). Stała dielektryczna, nazywana czasem przenikalnością dielektryczną (względną), opisuje ciała dielektryczne w polu elektrycznym i można ją pokrótce zdefiniować jako stosunek przenikalności danego ciała w stosunku do przenikalności próżni (wartość zbliżona do 1) [8]. Stałe dielektryczne określane dla poszukiwań miejsc pochówków w gruncie wypadają w przedziale od 4 (suchy piasek) do nawet powyżej 20 (gleba wilgotna) [7].

Obecnie podczas badań stosowane są anteny o częstotliwościach od 10 MHz do kilku GHz. Użycie konkretnego rodzaju anteny zależy przede wszystkim od obiektu, jakiego poszukujemy i jego właściwości fizycznych. Można jednak założyć, że im wyższa częstotliwość anteny, tym mniejsze obiekty uda się wykrywać, jednak w takim przypadku fala ulega znacznemu tłumieniu i spada zasięg pomiaru. Anteny o częstotliwości 1000 Mhz i wyższej stosowane są przy badaniach płytko przebiegających instalacji podziemnych lub zbrojeń stalowych w konstrukcjach betonowych. Natomiast anteny o niskich częstotliwościach znajdują zastosowanie w badaniach geologicznych [7].

Do celów archeologicznych i sądowych wykorzystywane są urządzenia wyposażone w anteny o częstotliwościach pomiędzy 100 a 800 MHz. W praktyce zasięg pomiarów czy też ich precyzja zależą od całego szeregu czynników, takich jak stała dielektryczna, przewodność, wilgotność czy też porowatość danego ośrodka.

Poszukiwania mogił czy też miejsc pochówków polowych stanowią jedne z najtrudniejszych wyzwań przy pracach z urządzeniem georadarowym. Zazwyczaj występuje tu brak dużego kontrastu pomiędzy ośrodkami (różnice względnych przenikalności dielektrycznych) i do uzyskania zadowalających rezultatów niezbędne jest wykonanie siatki pomiarowej o gęstości nie mniejszej niż 0,5 m oraz zebranie profili georadarowych badanego terenu w dwóch płaszczyznach, a następnie obróbka danych przy użyciu specjalistycznego oprogramowania dającego w rezultacie obraz trójwymiarowy. Jak wynika z doświadczenia autorów niniejszego artykułu, dopiero taki obraz można poddać ocenie i odpowiednio zinterpretować. O ile przy poszukiwaniu podziemnych instalacji, zbiorników czy fundamentów budowli można uzyskać zadowalające wyniki, dysponując nawet pojedynczymi profilami, o tyle podczas próby lokalizacji pochówków wymagane jest zebranie maksymalnej liczby danych.

Stosowane przez zespół Zakładu Medycyny Sądowej Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego w Szczecinie urządzenie georadarowe jest jednym z najczęściej używanych przez zespoły poszukiwawcze, kryminalistyczne, archeologiczne oraz DVI (Grupa ds. Identyfikacji Ofiar Kataklizmów – ang. Disaster Victim Identification). Z uzyskanych doświadczeń wynika, że jak dotąd w Polsce sporadycznie wykorzystywano urządzenia georadarowe do badań kryminalistycznych i archeologicznych, a stosowane urządzenia z reguły nie odpowiadały parametrom wymaganym przy tego rodzaju pracach. Posługiwano się najczęściej urządzeniami używanymi w geologii bez tworzenia skanów trójwymiarowych i z zastosowaniem niewłaściwych anten.

Rozwój technik georadarowych spowodował, że urządzenia te stały się niezbędną częścią wyposażenia zespołów poszukiwawczo-ekshumacyjnych i organizacji DVI. W XXI wieku trudno sobie wyobrazić, aby miejsca katastrof masowych nie były penetrowane tymi urządzeniami. Dotyczy to w szczególności katastrof lotniczych, gdzie zarówno poszczególne elementy wraku, jak i ciał, mogą spoczywać głęboko pod ziemią. W takich przypadkach niezbędne jest przeprowadzenie kompleksowych

badań z zastosowaniem georadarów, sond magnetometrycznych i detektorów metali. Te ostatnie są, jak dotąd, jedynymi urządzeniami, które weszły do powszechnego użytku. Jednak ich skuteczność w przypadku poszukiwań mogił jest niewielka. Głównym ograniczeniem jest zasięg działania tych urządzeń.

W niniejszej pracy przedstawiono próbę lokalizacji zbiorowego grobu z okresu II wojny światowej przy pomocy urządzenia georadarowego SIR-3000 GSSI (Geophysical Survey Systems Inc.). Urządzenie to zostało specjalnie skonstruowane do pracy w terenie, gdzie najważniejsza jest stosunkowo łatwa obsługa i jego mobilność. Dla potrzeb medycyny sądowej, kryminalistyki i archeologii urządzenia wyposażone są w antenę 400 Mhz oraz oprogramowanie do badań w czasie rzeczywistym oraz analizy dwuwymiarowej i trójwymiarowej. SIR-3000 składa się z wózka, pod którym zawieszona jest antena oraz sprzężonego z nią komputera [7].

Przed przystąpieniem do prac przeprowadzono kwerendę archiwalną oraz wywiad w terenie. Na podstawie relacji i publikacji historycznych wytypowano obszar, na którym toczyły się najcięższe zmagania wojenne. W archiwach udało się odnaleźć jedynie wykazy poległych żołnierzy Armii Czerwonej bez sprecyzowanego bliżej miejsca pochówku oraz dokumenty dotyczące przeprowadzonych przez Polski Czerwony Krzyż ekshumacji w latach 40. i 50. XX wieku. Z prostego porównania wynikało, że przynajmniej kilkudziesięciu żołnierzy spoczywa jeszcze w polowych mogiłach. Wywiad z mieszkańcami nie przyniósł spodziewanych rezultatów – tylko jedna osoba wskazała rejon dawnego cmentarza ewangelickiego jako możliwe miejsce istnienia mogił żołnierskich. W rejonie wspomnianego cmentarza przeprowadzono wstępne skanowanie przypadkowego miejsca celem określenia ustawień urządzenia oraz stwierdzenia stratygrafii warstw podłoża. Okazało się, że piaszczyste wzgórze wykazuje niemal geometryczny, niezaburzony układ warstw. Ustalenie powyższych faktów w znacznym stopniu ułatwiało prace.

Badania przeprowadzone z użyciem detektorów metalu i sondy magnetometrycznej nie wskazały miejsc pochówków. Następnie użyto georadaru. Pierwszym etapem badań było przeprowadzenia skanowania w czasie rzeczywistym i wytypowanie miejsc, w których pojawiły się jakiekolwiek zaburzenia struktury gruntu mające charakter wykopów. W ten sposób wytypowano rejon, który został objęty dokładnymi skanami georadarowymi (rycina 3). Teren, na którym znajdowało się miejsce pochówku, pokryto siatką skanów o rozmiarach 25 m na 5 m, zaś skany wykonywano co 0,5 m. Na podstawie wstępnej analizy uzyskanych obrazów dokonano wykopów sondażowych.

2. Opis przypadku – rys historyczny

20 marca 1945 roku wojska radzieckiego 1 Frontu Białoruskiego marszałka Żukowa zakończyły działania na Pomorzu Zachodnim. Niemiecka 3 Armia Pancerna została zepchnięta za Odrę. Od początku kwietnia 1945 roku strona niemiecka przygotowywała się do obrony wzdłuż linii tej rzeki. Możliwości bojowe korpusu Oder były jednak bardzo iluzoryczne, bowiem wszystkie rezerwy wojska przemieszczano w kierunku Berlina. Szeroka miejscami na 4 kilometry dolina Odry dawała złudne zresztą poczucie bezpieczeństwa. Ataku spodziewano się, i słusznie, wzdłuż osi autostrady przebiegającej przez Kołbaskowo. Odcinek ten zajmowała improwizowana 610 Dywizja Specjalnego Przeznaczenia składająca się z mieszaniny przeróżnych pododdziałów o znikomej wartości bojowej. W rejonie mostów na autostradzie, na linii spodziewanego natarcia, rozwinięto nowo sformowaną z folksdojczów bałkańskich i węgierskich 1 Policyjną Brygadę Strzelecką SS. W Szczecinie znajdowały się nieliczne oddziały garnizonowe i forteczne, na zachód od miasta reorganizująca się 281 Dywizja Piechoty, zaś w rejonie Polic 549 Dywizja Grenadierów Ludowych – jedyne duże jednostki bojowe zdolne do obrony. W późniejszym czasie w okolicę Pomellen przesunięto grupę bojową SS Müller składającą się z kilku batalionów sformowanych ze składu 27 Ochotniczej Dywizji Grenadierów SS Langemarck i 28 Ochotniczej Dywizji Grenadierów SS Wallonien [13].

W pierwszych dniach kwietnia nad Odrę zaczęły docierać spod Gdańska oddziały radzieckiej 65 Armii, które rozpoczęły luzowanie odchodzącej w kierunku Berlina 61 Armii. Już 16 kwietnia 1945 roku Rosjanie podjęli akcje zaczepne na Międzyodrzu, odrzucając do 19 kwietnia 1945 roku ubezpieczenia niemieckie za Odrę Zachodnią. 20 kwietnia 1945 roku około godziny 8.00 artyleria radziecka rozpoczęła trwające 45 minut przygotowanie artyleryjskie. Pod osłoną ognia pierwsze oddziały przystąpiły do forsowania rzeki. W ciągu 2 godzin żołnierze radzieckiego 18 Korpusu Strzeleckiego opanowali cały przewidziany planem forsowania odcinek. Oddziały niemieckiej 1 Policyjnej Brygady Strzeleckiej SS tylko lokalnie stawiły opór, wycofując się z dużymi stratami w kierunku Kołbaskowa i Siadła Górnego [1]. Dopiero po południu 20 kwietnia 1945 roku dowództwo niemieckiego odcinka doceniło powagę sytuacji i wydało rozkazy żołnierzom jednostek odwodowych. 281 Dywizja Piechoty i 549 Dywizja Grenadierów Ludowych rozpoczęły marsz na pozycje wyjściowe do natarcia, które nastąpiło dopiero wieczorem.

Jedyną dyspozycyjną siłą w tym rejonie była Grupa Bojowa SS pod dowództwem hauptsturmführera Henri Derricksa składająca się ze słabego batalionu walońskiego, dwóch batalionów flamandzkich, batalionu szturmowego 3 Armii Pancernej oraz 6 dywizjonu samobieżnych

niszczycieli czołgów. Grupa ta wczesnym popołudniem przystąpiła do przeciwuderzenia od strony miejscowości Pomellen i Kołbaskowo na Kamieniec oraz Moczyły. Na lewym skrzydle nacierali Flamandowie, którzy zatrzymali Rosjan w Kołbaskowie i po zażartym boju wyparli nieprzyjaciela ze wsi na wysokość folwarku Wilhelmshohe. W centrum nacierał batalion waloński, który do wieczora odrzucił radziecki 47 Pułk Strzelecki stanowiący część 15 Dywizji Strzeleckiej i wdarł się klinem aż po Moczyły. Na prawym skrzydle nacierał opóźniony batalion szturmowy 3 Armii Pancernej, zajmując Kamieniec i wypierając Rosjan na brzeg rzeki w rejonie przysiółka Kamionka. Nocą trwały zacięte walki w rejonie Siadła Górnego i Dolnego, gdzie wchodzące do akcji niemieckie oddziały 281 Dywizji Piechoty zepchnęły Rosjan na brzeg i wzgórza nad Odrą w rejonie Siadła Dolnego. Rankiem starcia rozgorzały z większą siłą. Nocą udało się przeprawić radzieckiej 65 Armii kolejne oddziały i sprzęt na zachodni brzeg Odry.

W okolicach Moczył atakujące wspólnie oddziały walońsko-flamandzkie nie odniosły powodzenia w walce pomimo poniesienia ogromnych strat. Linia frontu ustabilizowała się na linii drogi polnej łączącej Kamieniec z Kołbaskowem. Tam też do 23 kwietnia Flamandowie i Walonowie odpierali kolejne natarcia radzieckiej 15 i 69 Dywizji Strzeleckiej [4]. 24 kwietnia 1945 stało się już jasne, że Rosjanie przerwali front w rejonie Kołbaskowa oraz Smolęcina i maszerują na zachód. Obrona tracącego na znaczeniu odcinka stała się niepotrzebna. Z powodu braku łączności ze sztabami dowódcy niższego szczebla podjęli samodzielnie decyzję o odwrocie.

Obydwie walczące strony poniosły bardzo duże straty, poległych grzebano w prowizorycznych grobach w rejonie walk. Badane przez autorów niniejszej pracy stanowisko grobowe znajdowało się w centrum rejonu działań Grupy Bojowej SS Henri Derricksa. Dotychczas przeprowadzone przez zespół badania pozwoliły na znalezienie kilkudziesięciu miejsc pochówków żołnierzy niemieckich i radzieckich. Miały one charakter pochówków sanitarnych. Ciała były wrzucone do płytkich wykopów. W tym celu wykorzystano najczęściej dołki strzeleckie, okopy bądź leje po wybuchach.

3. Materiał i metody

Do badań wykorzystano urządzenie SIR-3000 firmy GSSI (Stany Zjednoczone) z anteną 400 MHz. Stałą dielektryczną ustawiono na 8.0, dane zbierane były z częstością 50 skanów na sekundę. Do gromadzenia danych użyto jednostki centralnej z procesorem 32-bitowym Intel StrongArm RISC, 206 MHz, z oprogramowaniem TerraSIRch i Quick3D, natomiast do ich analizy posłużono się oprogramowaniem RADAN 6.5.2.2. Wymienione wyżej oprogramowanie jest dostarczane również przez firmę GSSI ze Stanów Zjednoczonych. Stałą dielektryczną ustawiono na podstawie tabel dołączanych do instrukcji urządzenia przez producenta. Podaje ona jako średnią wartość dla względnie suchego podłoża wynoszącą 8,0. Założona częstość 50 skanów na sekundę jest również zalecana przez producenta do prac archeologicznych. Obie wartości dają, według własnych doświadczeń autorów, zadowalające wyniki i tylko w nielicznych przypadkach muszą być modyfikowane.

Analizowano stanowisko grobowe zlokalizowane w rejonie miejscowości Moczyły w gminie Kołbaskowo. Teren badań wybrano na podstawie danych archiwalnych i historycznych. Po przeanalizowaniu dokumentacji stwierdzono, że liczba poległych żołnierzy Armii Czerwonej ustalona na podstawie danych pozyskanych z raportów o stratach bezpowrotnych nie zgadza się z liczbą żołnierzy ekshumowanych po wojnie w latach 40. i 50. XX wieku. Badania historyczne pozwoliły na wytypowanie rejonu, w którym strona radziecka poniosła największe straty. Analiza danych archiwalnych wykazała, że w miejscowości Moczyły ekshumowano duży grób zbiorowy, co wskazywało, że większość żołnierzy powinna zostać pochowana poza obrębem miejscowości.

Kolejnym miejscem, w którym Armia Czerwona poniosła duże straty, był podmokły wąwóz wychodzący z miejscowości Moczyły w kierunku zachodnim. W pobliżu znajduje się wzgórze, na szczycie którego zlokalizowany został stary cmentarz ewangelicki. Kolejnym etapem było przeprowadzenie badań w jego rejonie. Zgrubne przeszukanie obszaru przy pomocy detektorów metali nie przyniosło rezultatów. Nie udało się stwierdzić drobnych przedmiotów metalowych (guziki od mundurów i płacht namiotowych, drobne monety) bardzo często obecnych na powierzchni w rejonie przypuszczalnych miejsc pochówku.

W fazie następnej przystąpiono do prac systematycznych z użyciem georadaru. Zastosowano siatkę skanów co 0,5 metra, co jest minimalnym odstępem przy pracy z anteną o częstotliwości 400 MHz. Wynika to z podstawowego równania fali $V = f \cdot \lambda$, gdzie V to prędkość rozchodzenia się fali, f to jej częstotliwość, a λ to długość fali. Łatwo obliczyć, że przy założeniu prędkości fali dla powietrza (próżni) długość fali wyniesie 0,75 m. Założywszy mniejszą prędkość fali w gruncie, uzyskamy mniejszą jej długość. Skanowanie w odstępach mniejszych od długości fali jest niecelowe, bowiem zbierane dane się dublują. Z kolei użycie siatki o gęstości np. 1 metra obniża szanse wychwycenia drobniejszych i słabszych anomalii.

Skanowanie na polu ornym po wschodniej stronie starego cmentarza wykazało liczne ciągłe zachwiania równoległości warstw. Przy uważnej obserwacji gruntu ujawniono drobne fragmenty kostne na jego powierzchni, pochodzące prawdopodobnie z płytko położonych miejsc pochówków, które zostały uszkodzone przez

sprzęt używany do prac polowych. Zgrubne skanowanie georadarem umożliwiło określenie rozmiaru możliwego miejsca pochówku. Dopiero na tym etapie użyto siatki złożonej z kwadratów o boku 0,5 m do precyzyjnego zbadania terenu.

Na podstawie wstępnej analizy uzyskanych obrazów dokonano wykopów sondażowych w kilku miejscach odległych od siebie około 2 metry. We wszystkich ujawniono zalegające kostne szczątki ludzkie i fragmenty tkanin oraz elementy skórzanego oporządzenia. Zgromadzone surowe skany połączono w siatkę trójwymiarową, wykorzystując możliwości oprogramowania RADAN 6.5.2.2. Obraz był na tyle czytelny, że nie zachodziła konieczność użycia filtrów korygujących zainstalowanych w oprogramowaniu.

4. Wyniki i dyskusja

Analiza stanowiska wykazała obecność dwóch anomalii (zaburzeń uporządkowanej struktury gruntu widocznych na ekranie urządzenia) zlokalizowanych w rejonie 6 i 10 metra badanego obszaru na osi Y. Zaburzenia struktury gruntu zlokalizowane pomiędzy 5,5 m a 8 m miały głębokość około 0,7 m. Zaburzenie kończyło się ostro, a warstwy wewnątrz anomalii były przemieszane. Natomiast anomalia zlokalizowana pomiędzy 8,5 m a 11 m skanu sięgała znacznie płycej, bo do głębokości około 0,5 m (rycina 5). Wykonane skany równoległe potwierdziły obecność zaburzeń w tych samych miejscach, a szerokość zaburzeń wynosiła około 1,5 m. Na podstawie wykonanych skanów oszacowano wielkość zaburzeń w pierwszym przypadku na 2,5m × 1,5 m × 0,7 m, w przypadku drugiej anomalii na 2,5 m × 1,5 m × 0,5 m. Obecność takich zaburzeń gruntu była podstawą do przeprowadzenia badań sondażowych. Wykonano kilka wykopów w obrębie obydwu anomalii, jak i poza nimi. W obrębie anomalii odkryto liczne szkielety ludzkie, których ułożenie wskazywało na grób masowy. Szczątki ludzkie zostały tam pochowane w sposób nieuporządkowany, bez trumien. Znaleziono przy nich pojedyncze destrukty amunicji systemu Tokariewa kalibru 7,62 mm oraz guziki od mundurów żołnierzy Armii Czerwonej, co wskazuje, że pochowani tam żołnierze radzieccy polegli podczas opisanych działań wojennych. Poza tymi drobnymi znaleziskami nie stwierdzono obecności innych przedmiotów, co znacznie utrudnia zlokalizowanie takiej mogiły metodami tradycyjnymi, np. z wykorzystaniem detektorów metali. Po wykonaniu badań przygotowano dokumentację niezbędną do ekshumacji, która zostanie przeprowadzona w terminie późniejszym.

Poszukiwanie miejsc pochówków wojennych (polowych) jest jednym z najtrudniejszych zadań, które można rozwiązać w pewnych warunkach przy użyciu urządzenia GPR. O ile poszukiwanie pochówków trumiennych lub antycznych grobowców nie stanowi większego problemu w standardowych warunkach, to stwierdzenie obecności zeszkieletowanych szczątków ludzkich jest bardzo trudne [11, 12]. Takie same obserwacje poczynili autorzy niniejszej publikacji podczas prac poszukiwawczych z urządzeniem georadarowym. Pojedyncza mogiła bardzo rzadko może dać odpowiednią anomalię w wyniku odbić sygnału od materiału kostnego. Najczęściej pozostaje interpretować obecność jamy grobowej na podstawie zakłóceń przebiegu warstw podłoża [2]. Z badań autorów wynika, że w przypadku grobu zbiorowego osiąga się zadowalające wyniki, bowiem znaczna ilość materiału kostnego oraz prawdopodobieństwo występowania przedmiotów kultury materialnej daje dość wyraźne anomalie. Ich intensywność zależy jednak w znacznym stopniu od warunków i stopnia rozkładu szczątków kostnych. Identyczne obserwacje poczyniły inne zespoły badawcze [9]. Wszyscy naukowcy stosujący systemy GPR są zgodni co do tego, że każde badanie powinno być poprzedzone szczegółową analizą warunków panujących na wytypowanym obszarze oraz zebraniem możliwie dużej liczby informacji na temat przewidywanych pochówków [2, 9, 11, 12]. Doświadczenia te pokrywają się z wynikami opisanych tu badań. Wykazały one, że wprowadzenie wysoko zaawansowanych technologicznie urządzeń, takich jak georadary, do procesu poszukiwawczo-ekshumacyjnego, staje się niezbędne. Urządzenia te są już wykorzystywane przez zespoły naukowców na świecie [2, 5, 6, 11, 12]. Autorzy tego artykułu podczas przeszło 10 lat pracy i przeprowadzeniu kilku tysięcy ekshumacji stwierdzili, że odnalezienie mogił, których lokalizacja nie jest precyzyjnie znana oraz gdy brakuje w mogile większych przedmiotów kultury materialnej wykonanych z metalu, bez urządzeń georadarowych jest znacznie utrudnione bądź niemożliwe.

Właściwe przebadanie miejsca katastrofy, kiedy liczba ofiar jest znaczna, a szczątki np. samolotu, jak i fragmenty ciał znajdują się na różnych głębokościach w gruncie, bez zastosowania urządzeń georadarowych jest bardzo trudne. Żadne inne urządzenie nie daje takich możliwości precyzyjnej lokalizacji tego typu elementów, jak systemy GPR. Urządzenia te są używane między innymi do poszukiwań wraków samolotów i szczątków ludzkich z okresu II wojny światowej, pomimo że miejsca upadku maszyn zostały dawno przebadane tradycyjnymi metodami. Zastosowanie metod georadarowych daje znacznie lepsze rezultaty [5, 6].

Przedstawione dane historyczne wskazują na niezwykle złożoną sytuację, z jaką może zetknąć się biegły na terenach byłych miejsc walk. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych urządzeń elektronicznych takich, jak urządzenia GPR oraz interdyscyplinarności zespołu badawczego, możemy dzisiaj znacznie skuteczniej badać miejsca pochówków i katastrof masowych.