

Analiza przydatności metody georadarowej do badania stropów budynków

Bernadeta Rajchel¹



The analysis of the usefulness of the ground-penetrating radar method for ceiling investigation. Prz. Geol., 62: 687–691.

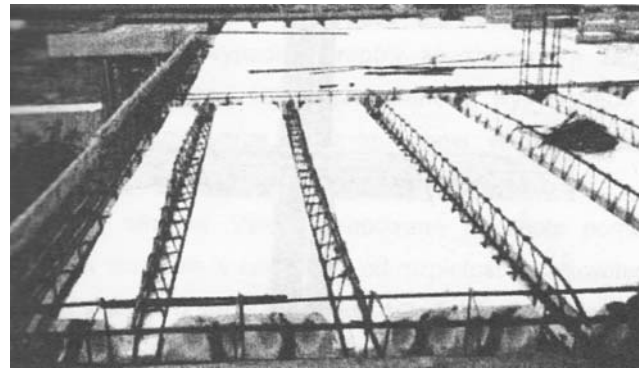
Abstract. Measurements were performed in order to evaluate the usefulness of the ground penetrating radar technique in engineering, especially for assessing the condition of wooden and reinforced concrete ceilings. Experimental measurement results for real engineering objects such as ceilings in both old wooden and newly erected brick buildings were presented. Recognition assessment of the technical condition of a ceiling is highly important for building's stability and users' safety. Their strength and resistance to decay and pests residing in buildings are an important issue in the case of wooden beam-framed ceilings (joists), whereas their strength and resistance to corrosion as well as the depth of reinforcement, bar diameters and gauge length are of importance in the case of reinforced concrete ceilings.

Keywords: GPR research, ceiling

Metoda georadarowa to bezinwazyjna metoda badania warstw przypowierzchniowych. Dostarcza informacji na temat istnienia oraz przebiegu struktur i obiektów występujących w podłożu. Jest jedną z najnowszych metod, stosunkowo prostą w obsłudze, a przy tym szybką w rozpoznaniu badanych warstw. W publikacjach, głównie autorów zagranicznych, opisane jest szerokie zastosowanie metody georadarowej w różnych dziedzinach nauki i gospodarki. Zagraniczni autorzy godni wymienienia to: Annan A. P., Daniels D. J., Greaves R. J., Davis J. L., Sigurdsson T., Olhoeft G. R. Natomiast z polskich, nielicznych uczonych, trudniących się tą tematyką, trzeba przytoczyć nazwiska: Karczewski J., Gołębiowski T. i Sołtys M. Metoda georadarowa najpierw stosowana była w działaniach militarnych i badaniach kosmicznych. Po udostępnieniu jej do działań cywilnych znalazła zastosowanie w badaniach geologicznych, geofizycznych, archeologii. Później z powodzeniem została użyta w rozwiązywaniu problemów inżynierskich – w drogownictwie, budownictwie, geodezji. W tej technice pomiarowej stosuje się aparaturę zwaną georadarem, a bezpośrednim wynikiem pomiaru jest obraz falowy nazywany echogramem, który odzwierciedla wewnętrzną strukturę ośrodka.

Inwestycja budowlana to wznoszenie nowych, jak i przebudowa istniejących obiektów. Zarówno w jednym, jak i drugim przypadku ważna jest kontrola powykonawcza zrealizowanych prac. Dodatkowo, przy obiektach już istniejących istotne jest rozpoznanie w takim obiekcie zastosowanych wcześniej rozwiązań budowlanych. Weryfikację taką może utrudniać brak odpowiedniej dokumentacji technicznej. Ewidencję obiektów prowadzi się poprzez badania bezpośrednie. Badania te mogą dotyczyć m.in. oceny konstrukcji wykonanych z żelbetu. Jest to materiał powszechnie stosowany w budownictwie. Szkielet zbrojenia zamontowany w formach lub deskowaniach zalewa się mieszanką betonową – tak powstaje żelbet. Z tego materiału wykonuje się mosty, tunele, budowle hydrotechniczne, a także ściany i stropy w budynkach mieszkalnych.

Stropy (ryc. 1) są ważnym elementem konstrukcyjnym w budynkach. W zależności od cech konstrukcyjno-tech-



Ryc. 1. Strop monolityczny na płytach szalunkowych zbrojony kratownicami (Drobiec & Pająk, 2013)

Fig. 1. Monolithic ceiling on shuttering plates reinforced with latticework (Drobiec & Pająk, 2013)

nologicznych rozróżnia się stropy belkowe, a także gęstożebrowe, płytowo-żebrowe (żelbetowe) oraz płytowe (żelbetowe). Spełniają następujące zadania (www.muratorplus.pl):

- przenoszą obciążenia: ciężar własny, obciążenia zmienne, ciężar ścian działowych oraz obciążenia z więźby dachowej;
- usztywniają budynek w kierunku poziomym;
- izolują poszczególne kondygnacje przed przenikaniem ciepła i dźwięków bądź pary wodnej;
- uniemożliwiają rozprzestrzenianie się pożaru;
- tworzą podłoże dla podłóg i posadzek.

Ocena rozpoznania stanu technicznego stropu ma ogromne znaczenie dla trwałości budynku oraz bezpieczeństwa użytkowników. W przypadku stropów belkowych drewnianych (legary) istotna jest ich wytrzymałość oraz odporność na próchnienie i szkodniki w istniejących budynkach, natomiast przy stropach żelbetowych – wytrzymałość, odporność na korozję oraz lokalizacja głębokościowa zbrojenia, średnice i rozstaw prętów.

Podstawowym sprzętem służącym do pomiarów jakości zbrojenia są sondy generujące w głąb struktury impuls magnetyczny, a następnie rejestrujące natężenie wywołanego w zbrojeniu wtórnego pola magnetycznego. W roz-

¹ Zakład Inżynierii Środowiska, Instytut Politechniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Stanisława Pigionia, ul. Dmochowskiego 12, 38-400 Krosno; brajchel@wp.pl.

poznaniu zbrojeń można również zastosować metodę georadarową. Metodę tą w tego typu pomiarach opisano w nielicznych publikacjach krajowych. Temat ten podjął Ortyl Ł. (2006) w pracy doktorskiej.

CEL BADAŃ

Głównym celem przeprowadzonych pomiarów była analiza użyteczności techniki georadarowej w problematyce inżynierskiej, a szczególnie w badaniach stanu stropów drewnianych oraz żelbetowych.

Zaprezentowano wyniki pomiarów doświadczalnych, które wykonano na rzeczywistych obiektach inżynierskich, takich jak stropy budynków starych drewnianych i nowo wybudowanych murowanych. Ocenie poddano dokładność rozłożenia głębokościowego i sytuacyjnego zbrojenia oraz legarów. Przeprowadzone pomiary dostarczyły również informacji na temat zróżnicowania i ciągłości struktury betonowej oraz zbrojenia.

METODYKA BADAŃ

Sposób wykonania pomiaru georadarowego (rodzaj profilowania), dokładność przeprowadzenia pomiaru, precyzja lokalizacji pomiaru w terenie i rodzaj użytej aparatury georadarowej są niezmiernie ważne przy prowadzeniu badań georadarowych.

Pomiary zostały wykonane za pomocą georadaru Detector Duo włoskiej produkcji firmy IDS. Do pomiarów wykorzystano antenę o częstotliwości 700 MHz. Badania płytkich warstw, takich jak stropy, powinno wykonywać się antenami o wysokich częstotliwościach rzędu 700 MHz, 1000 MHz i wyższych, ponieważ te anteny charakteryzują się wysoką rozdzielczością liniową oraz niewielkim zasięgiem. Krok próbkowania sygnału wynosił 2,5 cm.

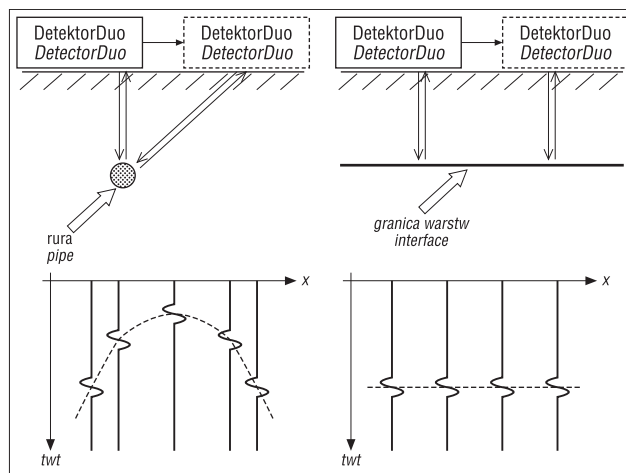
W profilowaniu bardzo ważny jest kontakt anteny z podłożem. Jeśli podczas pomiaru antena zostanie poderwana czy uniesiona do góry, powstaną wówczas wielokrotne odbicia, które mogą zafałszować rzeczywisty obraz badanego podłoża.

Za pomocą georadaru można zarejestrować struktury rozległe (tj. powierzchnie rozdziału między warstwami, obiekty liniowe równoległe do kierunku badania itd.) albo struktury niewielkie (tj. obiekty liniowe prostopadłe do kierunku badania, okruchy skalne itd.). Linie profilowań przebiegające wzdłuż tej samej struktury będą ją pokazywać jako linię prostą, natomiast linie profilowań wykonywane prostopadłe do badanej struktury będą obrazować tą strukturę w postaci hiperboli (ryc. 2).

WYNIKI BADAŃ

Obrazem belki drewnianej w stropie czy pręta zbrojeniowego w betonie jest hiperbola. Przy rejestracji legarów czy prętów o dużym rozstawie (np. 0,6 m) ich zapis na echogramie jest wyraźny i czytelny. Częściej jednak w zbrojeniach stropów występują znacznie mniejsze (co 10–30 cm) rozstępy między prętami (ryc. 3). Z tego powodu przy obróbce echogramów konieczne jest stosowanie filtracji, aby uzyskać odpowiedni obraz.

Obróbka uzyskanych echogramów w pierwszej kolejności polegała na usunięciu treści echogramu ponad miejscem zera czasu (*move start time*). Następnie echogramy poddano przetworzeniu, usuwając tło (*background removal*) oraz stosując pionowy filtr częstotliwościowy pasmo-



Ryc. 2. Schemat przesuwania anten prostopadłe do kierunku pomiaru (wynik: hiperbola) oraz równoległe (wynik: linia prosta) [Instrukcja obsługi georadaru Detector Duo]

Fig. 2. A schematic view of moving antennas perpendicular (result: hyperbole) and parallel (result: straight line) to the direction of measurement [Directions for use GPR Detector Duo]

wo-przepustowy (*vertical bandpass filter*). Opcjonalnie można również użyć funkcji wzmacniającej sygnał w czasie (*smoothed gain*).

Pomiary georadarowe wykonano w następujących obiektach:

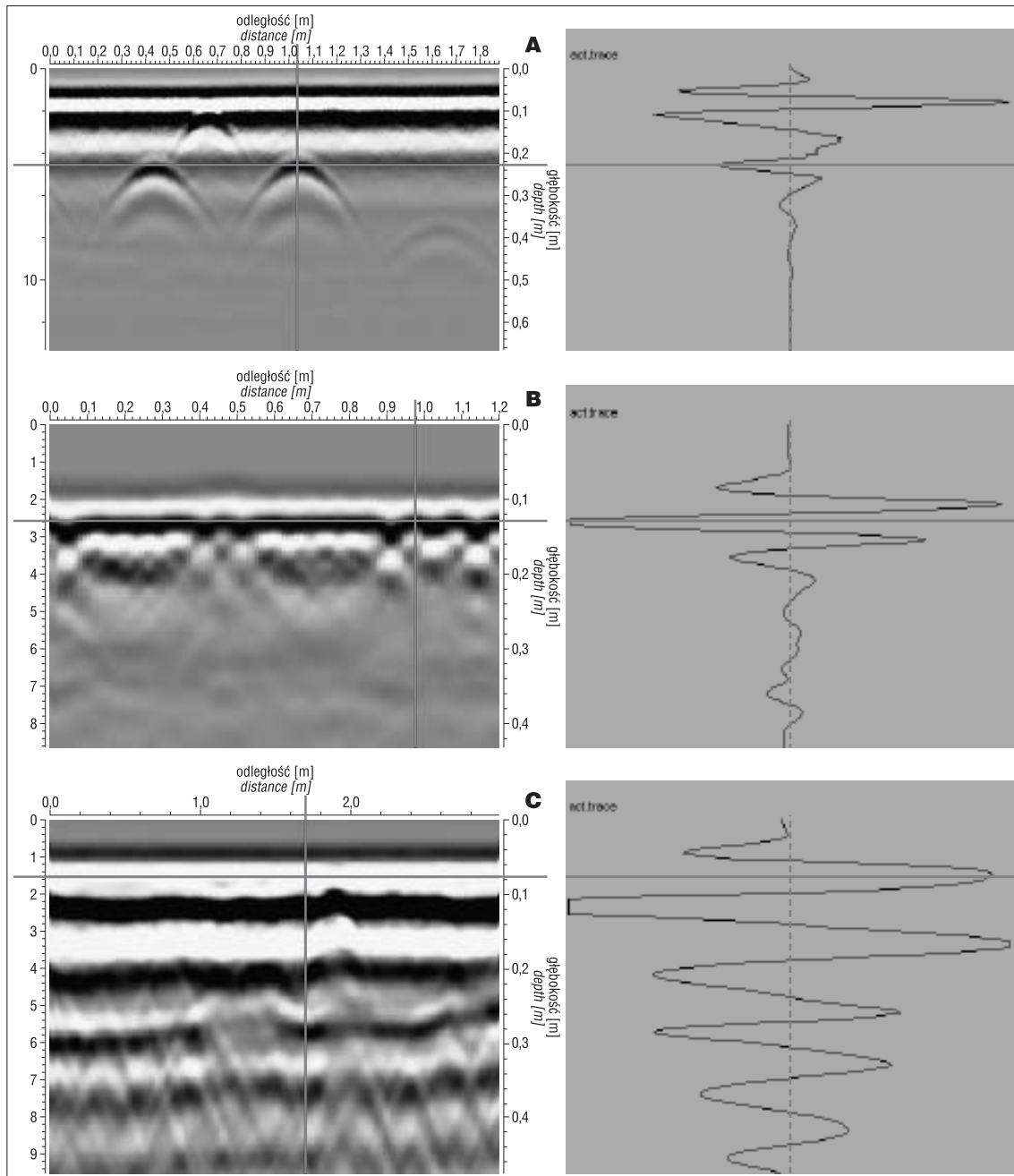
- pomieszczenia w obiektach uczelni ze stropem żelbetowym (ryc. 4),
- budynek mieszkalny murowany ze stropem żelbetowym (ryc. 5),
- dom jednorodzinny oraz obiekt sakralny ze stropem drewnianym (ryc. 6).

Na zarejestrowanym echogramie (ryc. 4A) widoczna jest siatka prętów zbrojeniowych stropu żelbetowego na głębokości 20 cm o rozstawie trudnym do dokładnego określenia (można przyjąć, że co 15–20 cm) oraz znajdują się belki zbrojeniowe o rozstawie co 120 cm na głębokości 40 cm; mają za zadanie wzmocnić strop, który jest obciążony maszynami przemysłowymi. Na kolejnym echogramie (ryc. 4B), zarejestrowanym w innym budynku (pomieszczenie biurowe), widoczne są żebra w stropie płytowo-żebrowym o rozstawie co 120 cm. Ostatni tutaj echogram (ryc. 4C) przedstawia pręty zbrojeniowe usytuowane co 15 cm, dodatkowo na długości profilu od 170 do 230 cm widoczna jest przerwa w ciągłości zbrojenia – to wzmocnienie konstrukcji po wyburzonej ścianie.

Na echogramie (ryc. 5A) widoczne są pręty zbrojeniowe w stropie żelbetowym budynku mieszkalnego jednorodzinne. Można tutaj zauważyć nierównomierne rozłożenie prętów, zarówno na długości, jak i na głębokości. Ich rozstaw waha się od około 20 cm do 25 cm, a różnice w głębokości wynoszą do 15 cm.

Podobna sytuacja została zanotowana na kolejnym echogramie (ryc. 5B), który zarejestrowano, wykonując pomiar georadarem prostopadłe do profilu wcześniejszego (ryc. 5A). Dodatkowo widoczne jest tutaj wzmocnienie stropu pomiędzy pomieszczeniami.

Echogram (ryc. 6A) przedstawia strop legarowy. Pomiar został wykonany w starym drewnianym domu jednorodzinny. Rozstaw belek drewnianych wynosi 90 cm. Posadowione są one na głębokości 10 cm. Natomiast na echogramie (ryc. 6B) pokazano strop legarowy znajdujący



Ryc. 3. Przykłady różnic w zapisie georadarowym z pomiarów prętów zbrojeniowych o różnym rozstawie; **A** – rozstaw 60 cm, **B** – rozstaw 5–10 cm, **C** – rozstaw 30 cm (Ortyl, 2006)

Fig. 3. Examples of differences in GPR record from measurements of reinforced concrete bars with different spacing: **A** – spacing 60 cm, **B** – spacing 5–10 cm, **C** – spacing 30 cm (Ortyl, 2006)

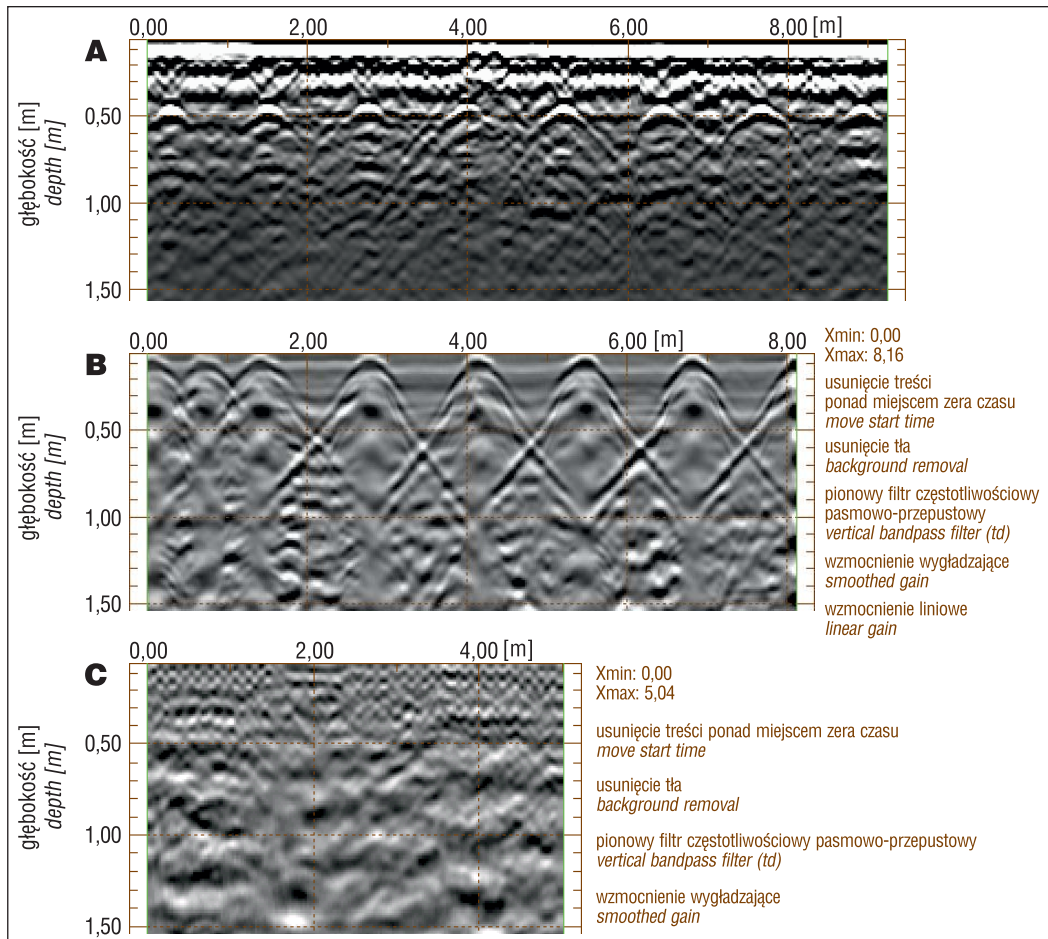
się w obiekcie sakralnym wybudowanym w XIV w. Belki stropowe rozstawione są co około 130 cm, położone pod kilkucentymetrowymi deskami, czego nie da się odczytać z echogramu.

WNIOSKI

1. Analizując powyższe echogramy, wykonane anteną o częstotliwości 700 MHz, stwierdzono, że częściowo można rozpoznać rozstaw prętów zbrojenia oraz legarów jeszcze przed procedurą filtracji. Natomiast jednoznaczne określenie rozstawu prętów jest możliwe, gdy wynosi on powyżej 20 cm. Pomiar georadarowy nie daje możliwości ustalenia średnicy prętów.

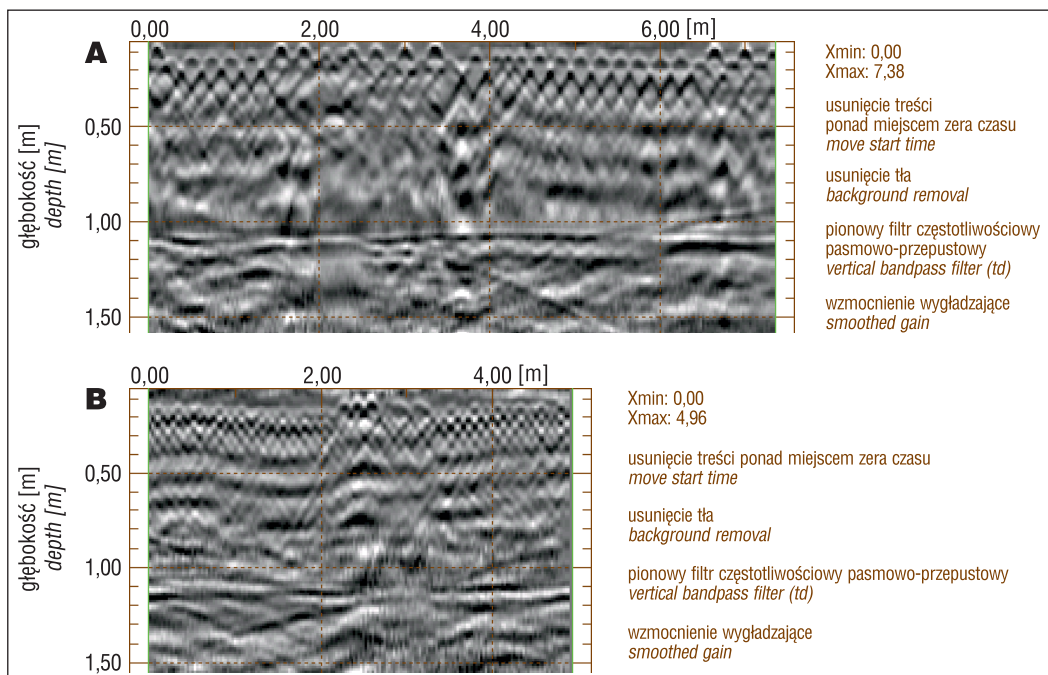
2. Przykłady praktycznego wykorzystania metody georadarowej do rozpoznania i analizy elementów inżynierskich, w omawianym przypadku stropów, potwierdzają jej przydatność w kontroli konstrukcji wykonanych z żelbetu czy z drewna. Z pomiarów georadarowych wykonanych anteną o częstotliwości 700 MHz można na echogramach rozpoznać zbrojenia o minimalnym rozstawie 15 cm oraz najmniejszej głębokości wynoszącej 10 cm.

3. Biorąc pod uwagę pomiary georadarowe wykonane użytym do tych badań georadarem wyposażonym w antenę o częstotliwości 700 MHz lokalizacja prętów oraz określenie ich rozstawu mogą być ustalone z dokładnością ± 5 cm pod warunkiem, że pomiary zostaną przeprowadzone z należytą starannością. W analizie głębokościowej



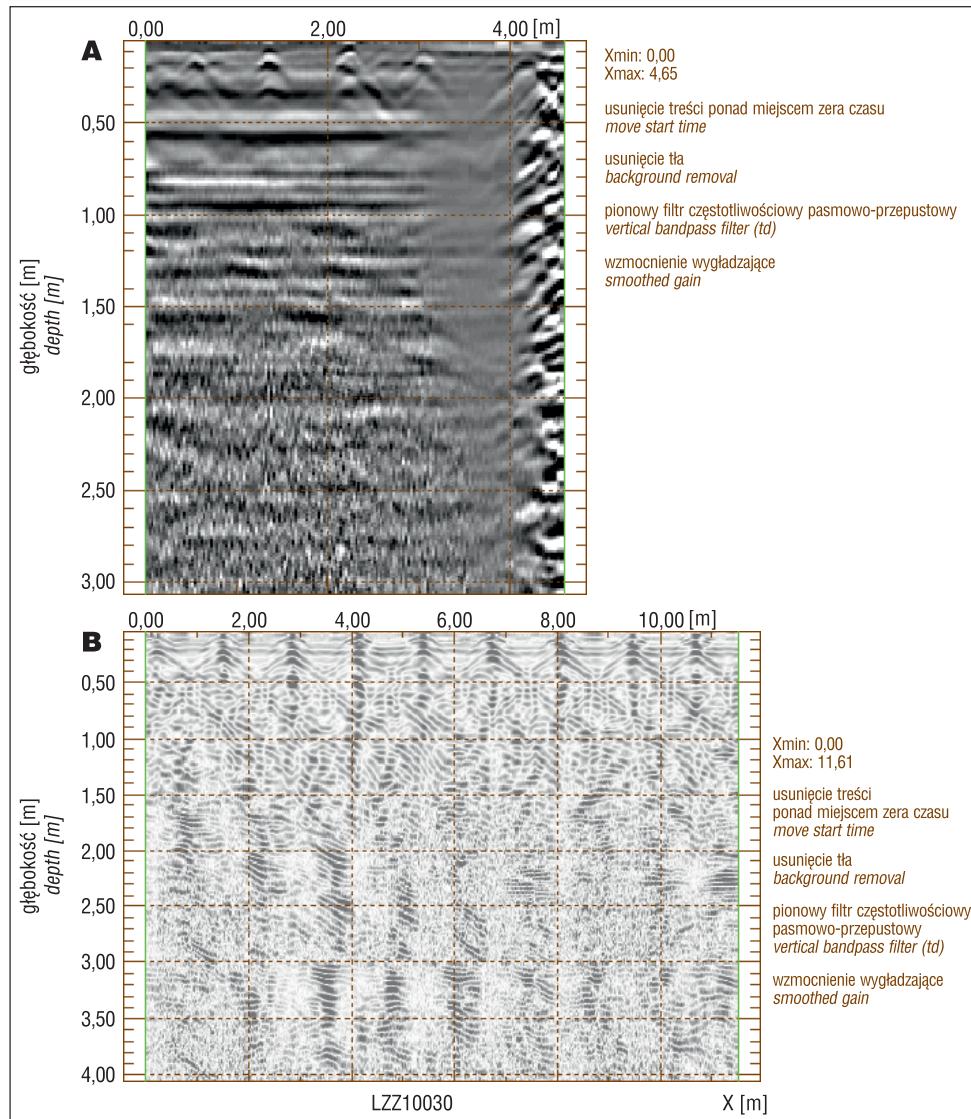
Ryc. 4. Zestawienie profili georadarowych A–C zarejestrowanych w budynku uczelni. Aparatura IDS/GPR, antena ekranowana 700 MHz

Fig. 4. Listing georadar profiles A–C recorded in building academy. Measurement device IDS/GRP, shielded antenna 700 MHz



Ryc. 5. Zestawienie profili georadarowych A–B zarejestrowanych w budynku mieszkalnym. Aparatura IDS/GPR, antena ekranowana 700 MHz

Fig. 5. Listing georadar profiles A–B recorded in dwelling house. Measurement device IDS/GRP, shielded antenna 700 MHz



Ryc. 6. Zestawienie profili georadarowych A–B zarejestrowanych w domu drewnianym (A) i obiekcie sakralnym (B). Aparatura IDS/GPR, antena ekranowana 700 MHz

Fig. 6. Listing georadar profiles A–B recorded in frame house (A) and in church (B). Measurement device IDS/GRP, shielded antenna 700 MHz

można uzyskać dokładność lokalizacji prętów na poziomie ± 1 cm.

4. Zaprezentowane informacje wskazują, że przebieg interpretacji wyników z pomiarów georadarowych jest złożony i wymaga od interpretującego dużej wiedzy i doświadczenia.

5. Zdaniem autorki referatu użycie metody georadarowej wraz z umiejętnością jej stosowania może być bardzo pomocnym narzędziem w pracy geodety, m.in. do inwentaryzacji powykonawczej obiektów inżynierskich, a co za tym idzie – poszerzyć zakres jego usług.

LITERATURA

- ANNAN A.P. 2001 – Ground Penetrating Radar. Workshop Notes, Sensor and Software Inc., Canada, s. 192.
 DANIELS D. 2004 – Ground Penetrating Radar. The Institution of Engineering and Technology, London, S. 726.
 DAVIS J. L. & ANNAN A.P. 1989 – Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophysical Prospecting, 37: 531–551.

- DROBIEC Ł. & PAJĄK Z. 2013 – Stropy z drobnowymiarowych elementów. Wyd. Polit. Śląskiej, Gliwice 2013, s. 67.
 GOŁĘBIEWSKI T. 2009 – 20 lat metody georadarowej w Katedrze Geofizyki na Wydziale Geologii, Geofizyki i ochrony środowiska AGH w aspekcie realizowanych w niej prac naukowo-badawczych. Geologia, 35 (2/1): 429–435.
 GREAVES R.J., LESMES D.P., LEE J.M. & TOKSOZ M.N. 1996 – Velocity Variation and Water Content Estimated from Multi-Offset, Ground Penetrating Radar. Geophysics, 61 (3): 683–695.
 KARCZEWSKI J. 2007 – Zarys metody georadarowej. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, s. 246.
 OLHOEFT G.R. 1988 – Interpretation of Hole-to-Hole Radar Measurements, Proceedings of the Third Technical Symposium on Tunnel Detection, January 12–15, 1988, Golden, CO: 616–629.
 ORTYL Ł. 2006 – Badanie przydatności metody georadarowej w geodezyjnej inwentaryzacji struktur i obiektów podpowierzchniowych; rozprawa doktorska AGH Kraków: 82–111.
 SIGURDSSON T. 1993 – Ground Penetrating Radar for Geological Mapping, Thesis, Aarhus University, Department of Earth Sciences, Aarhus, Denmark, August, 1993.
 SOŁTYS M. 2002 – Wyznaczanie położenia przewodów podziemnych metodą radarową z uwzględnieniem nowoczesnej aparatury. ZN AGH. Geodezja, 8 (1): 121–132.
 System Detector Duo – instrukcja obsługi. IDS Ingegneria Dei Sistemi S.p. A. N.
 www.muratorplus.pl.