

GEORADAROWA IDENTYFIKACJA STRUKTUR PERYGLACJALNYCH NA WYSOCZYZNACH MORENOWYCH

GROUND PENETRATING RADAR IDENTIFICATION OF PERIGLACIAL STRUCTURES ON MORAINIC PLATEAUS

Andrzej Kijowski, Zygmunt Młynarczyk, Marcin Słowik, Zbigniew Zwoliński

Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
w Poznaniu

SŁOWA KLUCZOWE: georadar, echogram, zdjęcia lotnicze, kliny mrozowe, litologia

STRESZCZENIE: Zastosowanie zdjęć lotniczych do rejestracji struktur poligonalnych zostało przedstawione w wielu publikacjach z zakresu problematyki peryglacjalnej. W warunkach niedoboru wody w powierzchniowej warstwie gruntu na podstawie wyróżników glebowych i roślinnych zidentyfikowano struktury zmienności litologicznej. Na wysoczyznach morenowych poddanych procesom peryglacjalnym występują struktury sieci poligonalnych, które zostały w wyniku procesów postdepozycyjnych, głównie eolicznych i spływu powierzchniowego, wypełnione materiałem litologicznie odmiennym od odtoczenia. Zmienność litologiczna wypełnień uwidocznia ich układ przestrzenny. Te struktury peryglacjalne poddano na wybranych profilach badaniom teledetekcyjnym, georadarowym i sedimentologicznym. Analiza echogramów georadaru MALA ProEx pokazuje nieciągłości i modyfikacje sygnału radarowego, które są efektem odmienności litologicznej i zmienności stosunków wilgotnościowych w utworach budujących badane struktury. Wyniki badań pochodzące z interpretacji zdjęć lotniczych i pomiarów georadarowych dokumentują, że struktury peryglacjalne odzwierciedlają się w postaci zmiany fotofonu/barwy jak i sygnału radarowego. Profile georadarowe otwierają nowe możliwości badania struktur peryglacjalnych na obszarach młodoglacjalnych w celu pozyskania ich modelu trójwymiarowego.

1. WSTĘP

Środowisko depozycyjne lądolodu skandynawskiego jest niezwykle zróżnicowane pod względem lito facjalnym (Mojski 2004). Jest ono efektem wielu czynników i uwarunkowań, które decydują o mozaikowej litologii podłoża Niżu Polskiego. Na tą zmienność litologiczną nizinnego obszaru Polski nakładają się dwa cykle krajobrazotwórcze, tj. peryglacjalny i holoceni (Zwoliński i in. 2008), które z jednej strony zaburzają wykształconą teksturę i strukturę osadów peryglacjalnych, ale jednocześnie z drugiej strony uwydatniają niektóre cechy ich depozycji plejstoceni. Szczególnie jest to dobrze widoczne w skrajnych warunkach uwilgotnienia gruntu, a mianowicie w czasie ustępowania przemarznięcia podłoża lub w czasie deszczy kiedy wzrasta jego wilgotność oraz w czasie długotrwałych susz hydrologicznych kiedy dochodzi do silnego przesuszenia wierzchnich warstw glebowych. Każdy z tych stanów wilgotnościowych gruntu ujawnia inne cechy litologiczne podłoża. Cechy stanu wilgotnego zostały opracowane wcześniej

(Kijowski, Zwoliński 2003). W niniejszym opracowaniu autorzy podejmują próbę interpretacji litologii podłoża w warunkach znaczącego jego przesuszenia. Tak jak w przypadku stanu wilgotnego, tak i w przypadku suchego podłoża przydatną metodą inwentaryzacji okazuje się zdalna rejestracja lotnicza na różnych wysokościach, od 200 m do 4000 m nad poziomem gruntu. Oprócz ukazania litologicznej mozaikowości podłoża za pomocą zdjęć lotniczych można odczytać także struktury peryglacialne, których genezę należy wiązać z warunkami peryglacjalnymi w okresie wycofującego się lądolodu na obszar Skandynawii. Liczne badania struktur peryglacjalnych na obszarach genezy plejstoceniowej i współczesnych obszarach paraglacjalnych (Mackay 1974, Washburn 1979, Fukuda i in. 1992, French 2007) wskazują, że powstawanie i funkcjonowanie form i struktur peryglacjalnych odbywa się w określonych warunkach morfologiczno-litologiczno-klimatycznych. Przykładem takich powierzchni z wyraźnymi strukturami, które mają genezę peryglacjalną są wierzchowiny morenowe Wysoczyzny Poznańskiej w okolicach Poznania i Szamotuł.

Wstępne rozpoznanie fotolotnicze tych powierzchni skłoniło autorów do zastosowania w badaniach struktur peryglacjalnych georadaru MALA ProEx, należącego do grupy radarów powierzchniowych. Praca instrumentu oparta jest na pomiarach sygnału za pomocą dwóch anten ekranowanych o zakresach 100MHz i 250 MHz, dzięki którym istnieje możliwość przeprowadzenia pomiaru georadarowego odpowiednio do głębokości 25 i 8 m. Oprogramowanie służące do pomiarów w terenie to pakiet GroundVision 2.0, a obrazy uzyskane z pomiarów terenowych przetworzono za pomocą programu ReflexW 5.0 w celu uzyskania obrazów przestrzennych oraz eliminacji systemowych i przypadkowych zakłóceń. W efekcie przeprowadzonych badań uzyskano fotogramy georadarowe, które odzwierciedlają struktury peryglacjalne w postaci klinów mrozowych, poligonów strukturalnych, wypełnień pęknięć podłoża gliniastego. Katalog tych fotogramów stał się podstawą do utworzenia metryk georadarowych, które mogą być wzorcami (standardami) do interpretacji podobnych powierzchni litogenetycznych. Zastosowanie radaru naziemnego umożliwia rozpoznawanie struktur peryglacjalnych bez konieczności kosztownej rejestracji lotniczej w przedziale widzialnym widma elektromagnetycznego.

Badaniami terenowymi objęto okolice transektu na linii Poznań-Szamotuły. Obszar ten należy do Pojezierza Wielkopolskiego i obejmuje zaplecze fazy poznańskiej zlodowacenia wisły (Kozarski 1981). Wysoczyzny morenowe płaskie zajmują większość tego obszaru. W podłożu występują utwory gliniaste, rzadziej osady fluwioglacjalne. Obszar jest słabo przekształcony przez działalność fluwialną w okresie holoceniowym. Szczegółowo budowa geologiczna, w tym podłoże czwartorzędowe oraz morfologia terenu została przedstawiona przez Chmala (1997) i Skompskiego (1993).

2. METODY BADAŃ

2.1. Metoda teledetekcyjna

W 2008 roku w Wielkopolsce wystąpiły optymalne warunki do lotniczej rejestracji zmienności litologii powierzchniowej pod kątem wykrywania struktur peryglacjalnych. Terenem rekonesansu lotniczego były fragmenty wysoczyzny morenowej w rejonie Kiekrza, gdzie w 1998 roku w rejonie Rostworowa zostały stwierdzone na zdjęciach lotniczych struktury poligonalne klinów mrozowych. Czytelność tych struktur uwidacznia

się w ekstremalnie suchych warunkach powierzchniowej warstwy gruntu – gleby. Zdjęcia lotnicze wykonane w okresie długotrwałej suszy umożliwiają rejestrację struktur litologicznych za pomocą wyróżników glebowych i roślinnych. W wyniku zróżnicowania pokroju liści rośliny a w zasadzie zmianie zawartości chlorofilu otrzymujemy informacje o podłożu. W wyniku zaplanowanego nalotu lotniczego na wstępnie wybrany teren wysoczyzny poznańskiej pod Kiekrzem 26-06-2008 roku zarejestrowano wiele powierzchni gdzie uwidoczniły się struktury poligonalne w postaci klinów mrozowych. Jedno z takich stanowisk w rejonie Kiekrza ilustrują zdjęcia lotnicze przedstawione na rys. 1 A i B.



Rys. 1. A. Zdjęcie lotnicze stanowiska Kiekrz 1 i Kiekrz 2 wykonane 26 czerwca 2008 roku z widocznymi kilkusetmetrowej długości strukturami peryglacjalnymi. Na zdjęciu oznaczono profile georadarowe i lokalizacje wierceń. Fot. A. Kijowski & W. Mania.



Rys. 1. B. Zdjęcie lotnicze stanowiska Kiekrz 3 wykonane 26 czerwca 2008 przedstawiające system wieloboków klinów mrozowych. Na zdjęciu oznaczono profil georadarowy. Fot. A. Kijowski & W. Mania.

Wstępne badania nad nieinwazyjną metodą rejestracji struktur klinów mrozowych podjęto stosując zdjęcia lotnicze, które umożliwiają przestrzenną lokalizację w kontekście pozycjonowania poprzez współrzędne geograficzne. Do tego celu zastosowano program ArcGIS, który umożliwił korekcję zniekształceń geometrycznych ukośnych zdjęć lotniczych. Drugim krokiem na drodze pozycjonowania w przestrzeni geograficznej wybranej powierzchni badawczej było przypisanie zdjęciom lotniczym współrzędnych

geograficznych w układzie 92, czego efektem było zaprojektowanie punktów początkowych wyznaczających profile badawcze dla dalszych badań za pomocą georadaru.

2.2. Metoda georadorowa

Po fazie rejestracji lotniczej wykonano przygotowanie do georadorowej metody badań polegającej na pomiarach za pomocą georadaru uprzednio wskazanych za pomocą współrzędnych geograficznych profili. Określone ze współrzędnych geograficznych punkty dla profili K-1, K-2, i K-3 każdy o długości 50 m zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Współrzędne geograficzne profili georadarowych (por. rys. 1)

Profil georadarowy	Początek profilu		Koniec profilu	
	Szerokość geogr. N	Długość geogr. E	Szerokość geogr. N	Długość geogr. E
K-1	52.4894300	16.7696558	52.4892760	16.7689186
K-2	52.4888850	16.7717467	52.4887555	16.7710412
K-3	52.49470000	16.7704517	52.4945639	16.7705189

Pomiary przeprowadzono na trzech profilach pomiarowych w K-1, K-2 i K-3 w dniach 1 i 16 kwietnia 2009 roku k/Poznania przy pomocy georadaru MALA ProEx, przy użyciu dwóch anten ekranowanych o zakresach 100MHz i 250 MHz. Zarówno obszar badań jak i lokalizację profili wytypowano na podstawie zdjęć lotniczych, na których widoczne były struktury klinów mrozowych. Podczas pomiarów w terenie wykorzystano oprogramowanie GroundVision 2.0. Najbardziej czytelny obraz uzyskano przy zastosowaniu anteny 100 MHz, natomiast dla anteny 250 MHz uzyskano czytelne echogramy tylko dla profilu K-2 (tab. 2).

Tabela 2. Ustawienia anten w czasie pomiarów.

Parametr anteny	100 MHz	250 MHz
częstotliwość próbkowania sygnału rejestrowanego (MHz)	5231	5231
liczba próbek	650	246
liczba złożów	8	8
okno czasowe (ns)	124,3	47
odległość między trasami (m)	0,099 i 0,247*	0,049

* - odległość między trasami na profilu nr K-2

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 zakłóceń niskoczęstotliwościowych (Karczewski, 2007),

- wyrównanie rozbieżności – filtr umożliwiający wyrównanie strat pochodzących z rozbieżności geometrycznej (Sandmeier, 2008),
- zanik energii – filtr ten zastosowano do przetworzenia obrazu uzyskanego przy użyciu anteny 250 MHz; działa on poprzez obliczenie tempa zaniku energii we wszystkich zmierzonych śladach w danym pomiarze, a odwrotność obliczonej funkcji odnosi do danych pomiarowych (Franke, 2008).

Skalę głębokości na poszczególnych echogramach przyjęto w odniesieniu do prędkości fali elektromagnetycznej $V = 0,05 \text{ m ns}^{-1}$. Wartość prędkości określono na podstawie tabeli prędkości fali elektromagnetycznej dla różnych ośrodków (Karczewski, 2007), przyjmując wartość dla gliny. Przyjęto założenie, że osad ten będzie stanowił wyraźną granicę na echogramach, kontrastującą z leżącymi powyżej osadami piaszczystymi. Na osi rzędnych echogramu odczytano czas, w którym taka granica jest widoczna, a następnie obliczono prędkość fali elektromagnetycznej.

2.3. Metody sedymentologiczne

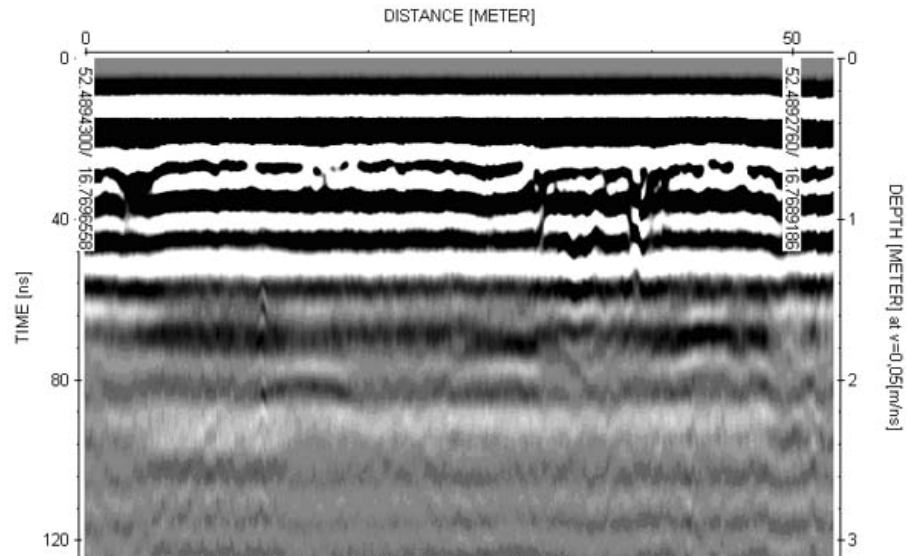
W celu weryfikacji uzyskanych danych georadarowych wykonano pilotażowe wiercenia w osadach podłoża, występujących na profilach K-1 i K-2. Wiercenia wykonano ręczną sondą penetracyjną do głębokości 1,5 m. Wiercenie k1a zostało zlokalizowane na obszarze okalającym sieć struktur peryglacialnych wyznaczonych teledetekcyjnie. Dwa następne wiercenia k1b oraz k2c zlokalizowano w obrębie struktur peryglacialnych. Podczas wierceń pobrano łącznie 12 próbek osadów podłoża z różnych głębokości w celu wykonania analiz składu mechanicznego osadów. Analizy uziarnienia wykonano:

- analizatorem Mastersizer 2000 (Malvern) o rozpiętości 0,02 – 2000 μm dla próbek z wiercenia k1a i k1b (bez próbki k1b/40),
- metodą sitową (<0,063, 0,063, 0,09, 0,125, 0,25, 0,5, 1,0, 2,0, 4,0 mm) dla próbki k1b/40 oraz wszystkich próbek z wiercenia k2c.

3. WYNIKI BADAŃ

Przeprowadzone pomiary georadarowe potwierdziły obecność poligonów o genezie peryglacialnej na badanym obszarze. Jedna z takich struktur widoczna jest na 40 m profilu K-1 (rys. 2). Charakteryzuje się ona szerokością 3 metrów i głębokością dochodzącą do 2,9 m pod powierzchnią terenu. Obecność takiej struktury potwierdzają próbki z wierceń k1a i k1b wykonane na tym profilu (rys. 3). Na echogramie widoczne są również dwie inne struktury, które także mogą być pochodzenia peryglacialnego (na 4 metrze oraz na 33 metrze profilu K-1; rys. 2). W dolnej części echogramu zostały zapisane zakłócenia (w postaci hiperbol) spowodowane obecnością linii energetycznych wysokiego napięcia, przebiegających w pobliżu obszaru badań.

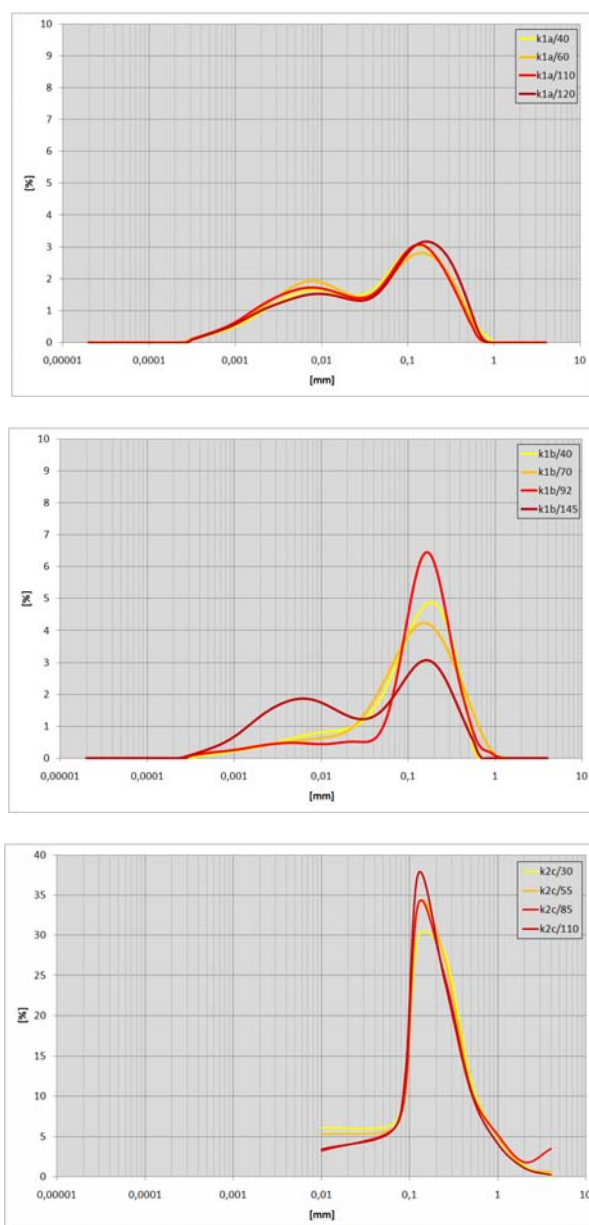
Skład mechaniczny pobranych osadów (rys. 3 i 4) wskazuje, że próbki z wiercenia k1a reprezentują ten sam osad, którym jest glina poznańska z bardzo dużą ilością najdrobniejszych frakcji (52,5% <0,063 mm). Osad ten cechuje się dwu modalnością z kulminacjami 0,1-0,2 mm dla frakcji piaszczystej oraz 0,007-0,009 mm we frakcji pylastej.



Rys. 2. Echogram ilustrujący strukturę klina mrozowego na profilu nr K-1, stanowisko Kiekrz (pomiar za pomocą anteny 100 MHz).

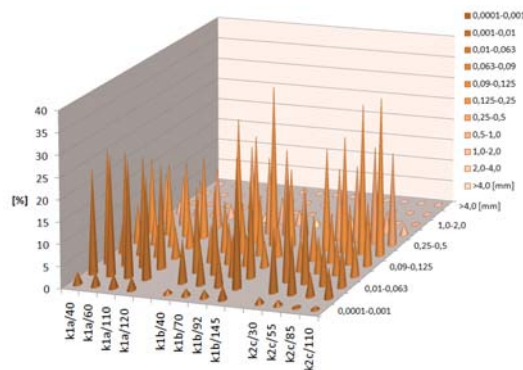
Próbki z wiercenia k1b reprezentują zróżnicowane osady. W stropie, na głębokości 40 cm zalegają piaski drobnoziarniste, które kontynuują się do głębokości co najmniej 1 m. W spągu, na głębokości prawie 1,5 m występuje osad identyczny jaki został stwierdzony w wierceniu k1a, czyli glina. Z kolei próbki z wiercenia k2c reprezentują piaski drobnoziarniste o prawie identycznym rozkładzie uziarnienia. Należy podkreślić, że analiza granulometryczna potwierdza rozdział analizowanych osadów na te, które reprezentują wysoczyznę morenową oraz te, które stanowią wypełnienia struktur peryglacialnych.

Pomiary przeprowadzone na profilu nr K-2 (rys. 5 i 6) wykazały obecność struktury peryglacialnej o znacznie większych rozmiarach niż wyżej omówiona. Struktura ta cechowała się znaczną szerokością (10 m) i głębokością dochodzącą do 4 m pod powierzchnią terenu. Jest ona wyraźnie widoczna na 30 metrze profilu K- 2, zarówno przy pomiarze anteną 100 MHz (rys. 5) jak i 250 MHz (rys. 6). Również w tym przypadku obecność struktury peryglacialnej została potwierdzona badaniami sedimentologicznymi (rys. 3 i 4). Na echogramie uzyskanym przy pomocy anteny 250 MHz widać także inne struktury na 5, 17 i 40-45 metrze profilu (rys. 6), które *per analogiam* również mogą być strukturami peryglacialnymi. Formy te są dużo mniejsze niż wyżej opisana, dlatego nie są one widoczne w przypadku pomiaru anteną 100 MHz (rys. 5), dającą obraz o mniejszej rozdzielczości. Odmienny, bardziej urozmaicony echogram uzyskano dla profilu K-3, na którym widać serię drobnych struktur peryglacialnych o dużej gęstości (rys. 7).

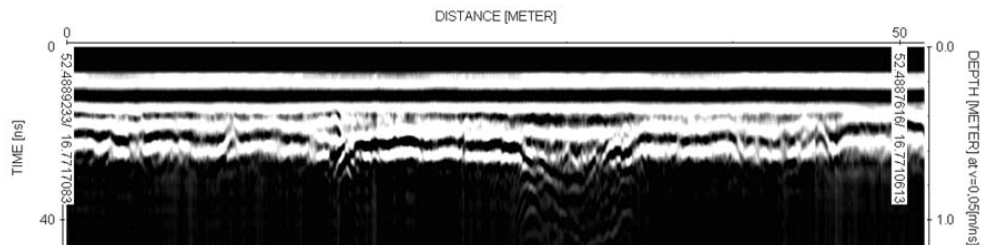


Rys. 3. Rozkłady uziarnienia dla wierceń k1a, k1b i k2c; po ukośniku podano głębokość w cm poboru próbki do badań granulometrycznych.

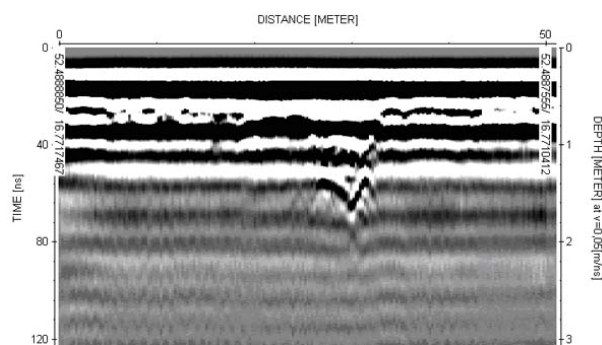
Echogramy na rys. 5, 6 i 7 sugerują, że wykazane nieciągłości w przebiegu echa należy interpretować jako występowanie struktur peryglacialnych. Postanowiono wykorzystać tę prawidłowość w dalszej interpretacji echogramów. W tym celu przyłożono echogramy do zdjęć lotniczych, sprowadzone do tej samej skali. Z analizy porównawczej wynika, że oprócz stwierdzonych wcześniej struktur peryglacialnych i potwierdzonych sedymentologicznie można jeszcze wydzielić wiele innych struktur, odpowiadających załamaniom sygnału na echogramie (rys 8). Podobną analizę porównawczą zdjęcia lotniczego z wynikiem pomiarów georadarowych wykonano dla stanowisku K-3, co przedstawia rys. 9.



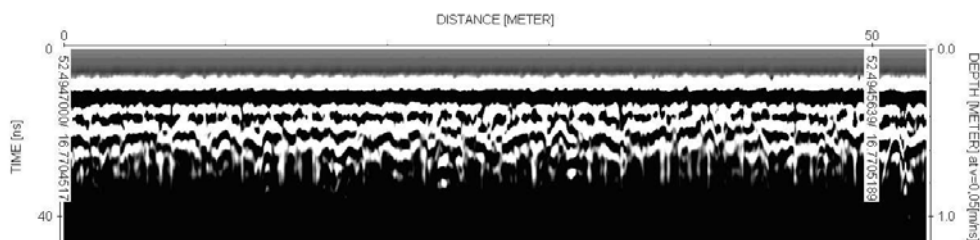
Rys. 4. Syntetyczne porównanie rozkładów uziarnienia dla wszystkich próbek ukazujące zróżnicowanie litologiczne pomiędzy osadami wysoczyzny morenowej (wiercenie k1a) a wypełnieniami struktur peryglacialnych (wiercenia k1b i k2c).



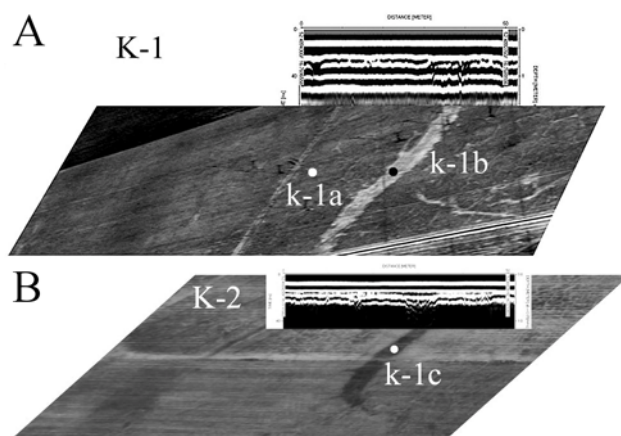
Rys. 5. Echogram przedstawiający strukturę peryglacialną na profilu nr K-2 – pomiar za pomocą anteny 250 MHz.



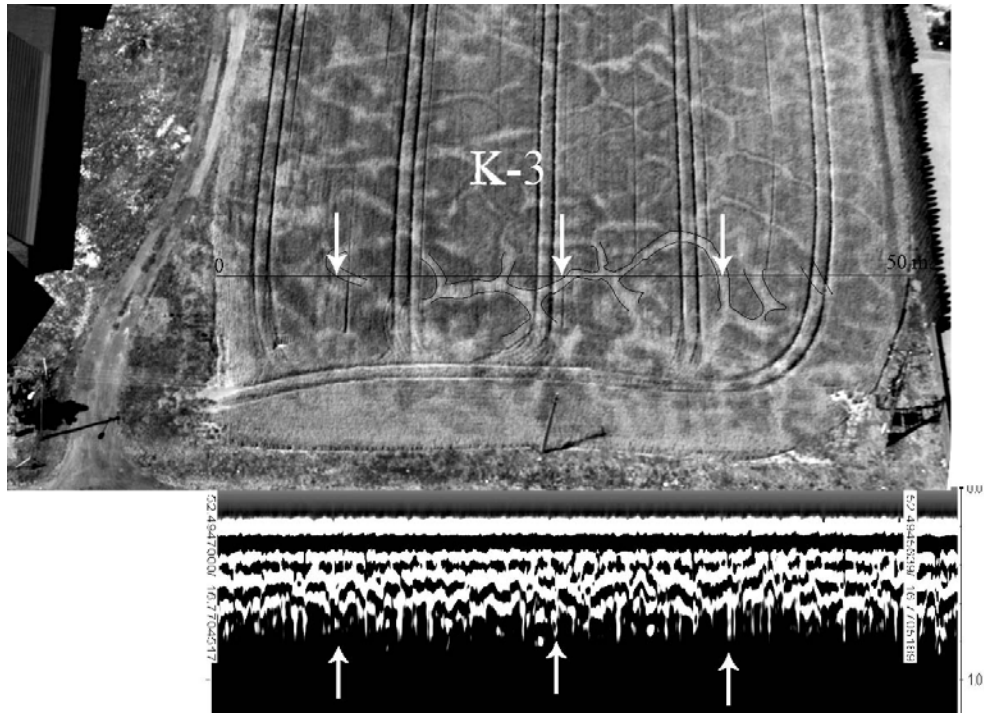
Rys. 6. Echogram przedstawiający strukturę peryglacjalną na profilu nr K-2 – pomiar za pomocą anteny 100 MHz.



Rys. 7. Echogram przedstawiający serie drobnych struktur peryglacjalnych na profilu nr K-3 – pomiar za pomocą anteny 250 MHz.



Rys. 8. Stanowiska K-1 (A) i K-2 (B) z zaznaczonymi strukturami peryglacjalnymi.



Rys. 9. Analiza porównawcza zapisu georadarowego z występowaniem struktur peryglacialnych na stanowisku K-3. Ugięciom sygnału radarowego przypisuje się struktury poligonalne na linii profilowej.

4. WNIOSKI

Przy pozycjonowaniu linii profilowych georadaru wykorzystano precyzyjne pomiary GPS w celu dokładnej ich lokalizacji na zdjęciach lotniczych. Pilotażowe badania georadarowe na wybranych profilach wysoczyzny morenowej w okolicach Poznania udokumentowały bezspornie identyfikację struktur litologicznych, którym przypisano genezę peryglacialną o charakterze obiektów liniowych i poligonalnych. Poparcie identyfikacji struktur peryglacialnych ze zdjęć lotniczych i echogramów georadarowych badaniami sedimentologicznymi upoważnia do stwierdzenia, że badane struktury peryglacialne reprezentują kliny mrozowe. Przekonuje o tym wypełnienie struktur peryglacialnych materiałem drobnopiaszczystym, którego dominująca frakcja odpowiada dominującej frakcji osadów otoczenia tych struktur. Oznaczać to może, że materiał wypełniający kliny mrozowe nie musi być pochodzenia eolicznego, lecz o jego proveniencji zdecydowały spływy powierzchniowe rozmywające lokalne osady gliniaste.

Dalsze badania z wykorzystaniem georadaru powinny zmierzać w kierunku uzyskania modelu trójwymiarowego poprzez wykonanie serii pomiarów równoległych

i prostopadłych na powierzchniach, na których widoczne są zmienności litologiczne wynikające z charakteru środowiska peryglacjalnego. Kolejne próby w tym zakresie zostaną podjęte po sezonowej zmianie użytkowania ziemi w okresie późnego lata i wczesnej jesieni.

5. LITERATURA

- Bogdański P., Kijowski A., 1990. Photointerpretation of geometry of Vistulian ice-wedge polygons: The Grabianowo and the Sulejewo sites, south of Poznań. *Quaestiones Geographicae* 11/12 (1985/1986), Poznań : 39-562.
- Chmal R., 1997. Szczegółowa mapa geologiczna Polski, 1:50000, ark. Poznań (471) + objaśnienia. PIG, Warszawa.
- Francke J.C., 2008. Report to Forman Chung & Sykes on the ultraGPR void detection survey. Florence Hall Development, Trelawny Paris, Jamaica: 1-20.
- French H.M., 2007. *The Periglacial Environment*. Third edition. Wiley.
- Fukuda M., Strelin J., Shimokawa K., Takahashi N., Sone T., Trombott D., 1992. Permafrost Occurrence of Seymour Island and James Ross Island, Antarctic Peninsula Region. W: Recent Progress in Antarctic Earth Science, Y. Yoshida et al. (eds.), TERRAPUB, Tokyo: 745-750.
- Karczewski J., 2007. Zarys metody georadarowej. *Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne*, Kraków: 1-246.
- Kijowski A., Zwoliński Zb., 2003. Obieg wody w strefie środkowopomorskiego ciągu czołowomorenowego w świetle fotomapy Barwice-Połczyn Zdrój. W: Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych. Obieg wody: uwarunkowania i skutki w środowisku przyrodniczym, A.Kostrzewski, J.Szpikowski, (red.), Bogucki Wyd. Nauk., Poznań: 33-51.
- Kozarski S., 1981. Stratygrafia i chronologia vistulianu Niziny Wielkopolskiej. PAN, Oddz. w Poznaniu, *Geografia* 6: 1-44.
- Mackay J. R., 1974. Ice-wedge cracks, Garry Island, Northwest Territories. *Canadian Journal of Earth Science*, 11: 1366-1383.
- Mojski J., 2005. Ziemie polskie w czwartorzędzie. Zarys morfogenezy. PIG, Warszawa: 1-404.
- 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: 1-476.
- Skompski S. 1993 – Szczegółowa mapa geologiczna Polski, 1:50000, ark. Oborniki Wielkopolskie (433) + objaśnienia. PIG, Warszawa.
- Washburn A. L. (1979): *Geocryology; A survey of periglacial process and environments*. London, Edward Arnold: 1-406.
- Zwoliński Zb., Kostrzewski A., Stach A., 2008. Tło geograficzne współczesnej ewolucji rzeźby młodoglacjalnej. W: Współczesne przemiany rzeźby Polski. Starkel L., Kostrzewski A., Kotarba A., Krzemień K. (red), Wydawnictwo IGiP UJ, Kraków: 271-325.

GROUND PENETRATING RADAR IDENTIFICATION OF PERIGLACIAL STRUCTURES ON MORAINIC PLATEAUS

KEY WORDS: GPR, echogram, aerial photos, ice wedges , lithology

SUMMARY: The literature on periglacial problems is abundant in papers concerning the application of aerial images in the detection of polygonal structures. In this paper we present results of investigations of polygonal structures identified in surface layer of the ground during a period of water shortage. The lithological difference of structures was detected on the basis of pedological and botanical analyses. Many morainic plateaus, which were transformed by periglacial processes, are covered with networks of polygonal structures, filled with sediments transported by wind or sheet wash. The material, which fills polygons, is lithologically different from the surrounding sediment covers. This lithological difference of fillings facilitates detection of spatial distribution of polygonal structures. Several profiles across polygonal structures were selected for ground penetrating radar (GPR) MALA ProEx surveys combined with photogrammetric and sedimentological studies. First results of the analysis of aerial images and GPR surveys show that polygonal structures are reflected by different colour and changes in GPR signal. Application of ground penetrating radar provides new opportunities in investigations of periglacial landforms covering young-glacial areas and, first of all, enables three-dimensional modelling of polygonal structures.

Dr Andrzej Kijowski
e-mail: kij@amu.edu.pl
tel. +61 8296251
fax +61 8296230

Prof. dr hab. Zygmunt Młynarczyk
e-mail: zygmunt@amu.edu.pl
tel. +61 8296218
fax +61 8296216

Dr Marcin Słowik
e-mail: slowikgeo@poczta.onet.pl
tel. +61 8296223
fax +61 8296216