

DZIAŁALNOŚĆ LABORATORIUM RADIOINTROSKOPII PRZY WYDZIALE ELEKTRONIKI POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Remigiusz MYDLIKOWSKI¹, Krzysztof MANIAK²

1. Politechnika Wrocławska, Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów
SEP Oddział Wrocławski
tel.: 713202829, e-mail: remigiusz.mydlikowski@pwr.edu.pl
2. Instytut Łączności, Warszawa
tel.: 713699841 e-mail: k.maniak@il-pib.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono historię laboratorium radiointroskopii stworzonego przy Politechnice Wrocławskiej. Laboratorium w swojej ponad 50 letniej historii zajmowało się badaniami pól elektromagnetycznych emitowanych przez skały oraz grunt poddawanych mechanicznym naprężeniom. Laboratorium skupia się na budowie prototypowej aparatury badawczej i pomiarach polowych. Realizacja tematyki radiointroskopii zwieńczona jest wieloma publikacjami, 16 patentami, 4 doktoratami i 2 pracami habilitacyjnymi. Laboratorium kontynuuje swoje badania do dnia dzisiejszego, poszukując nowych dziedzin badawczych wykorzystania fal elektromagnetycznych w zastosowaniach niatelekomunikacyjnych.

Słowa kluczowe: laboratorium radiointroskopii, badania gruntu, emisja pola elektromagnetycznego, skały.

1. WSTĘP

Początki działalności laboratorium radiointroskopii sięgają roku 1971. Za twórcę laboratorium należy uważać profesora Andrzeja Prałata (rys. 1), który pracował na Politechnice Wrocławskiej w latach 1962 do 2008. Przez całą swoją karierę naukową zajmował się on badaniami pól elektromagnetycznych w pobliżu ziemi i w ziemi oraz ich wykorzystywaniem do celów telekomunikacyjnych (łącność ruchoma oraz łączność przez ziemię i pod ziemią), jak i niatelekomunikacyjnych (wykrywanie niejednorodności w ziemi). Pomiaru takie, wykonywane w szerokim zakresie częstotliwości określa się wspólnym mianem radiointroskopii. W laboratorium profesor wraz ze swoim zespołem badawczym zajmował się projektowaniem, konstruowaniem i wykorzystywaniem w badaniach polowych unikatowej aparatury oraz systemów pomiarowych, głównie radiotechnicznych.

Profesor na początku swojej kariery naukowej, zakończonej pracą doktorską, zajmował się badaniami i budową aparatury do prześwietlania skał w celu poszukiwania złóż cynku i ołowiu. W pracy doktorskiej skonstruował unikalną aparaturę pomiarową do wyznaczania zawartości metalu w górotworze. Stworzony system pomiarowy chroniony jest patentem. Swoją pracę doktorską obronił w 1970 roku. Od roku 1971 kontynuował swoje badania w powołanym przez siebie zespole badawczym, którego głównymi członkami obok A. Prałata byli: Hubert Trzaska, Jerzy Kopeć oraz Ryszard Wroczyński.



Rys. 1. Profesor Andrzej Prałat (ur. 1937)

W latach 1975-1993 laboratorium prowadziło prace badawcze i rozwojowe nad łącznością radiową w chodnikach podziemnych kopalń oraz budową aparatury do poszukiwań geofizycznych ropy naftowej. W wyniku tych prac zbudowano prototypowe systemy łączności podziemnej w wielu kopalniach węgla kamiennego na zlecenia z przemysłu wydobywczego z Polski oraz Czech. Rozwój tej technologii łączności pozwolił na uzyskanie kilku patentów na aparaturę oraz ochronę patentową na projektowe wzory użytkowe. Równolegle w laboratorium opracowywano i budowano aparaturę do karotazu indukcyjnego wielkiej częstotliwości dla górnictwa naftowego, która między innymi znalazła zastosowanie w kopalni uranu w Hamrze (Czechy).

Prace laboratorium w tamtym okresie zostały zwieńczone pracą habilitacyjną A. Prałata [1]. Praca została obroniona w 1993 r. a profesor uzyskał stopień doktora habilitowanego. Po uzyskaniu tytułu naukowego, w latach 1995-2005 pełnił on funkcję kierownika zespołu badawczo-dydaktycznego stanowiącym Zakład Układów Elektronicznych przy Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej (rys. 2). W Zakładzie tym, który był częścią ówczesnego Instytutu Telekomunikacji i Akustyki, prowadzono kierunki działalności naukowej związanej z:

– badaniami teoretycznymi, związanymi z opracowywaniem modeli dokładnie opisujących rzeczywiste elementy i przyrządy półprzewodnikowe, działające zarówno w warunkach normalnych jak i ekstremalnych oraz prace nad metodami symbolicznymi analizy układów elektronicznych,

– aplikacje układów elektronicznych do pomiaru pól elektromagnetycznych, prowadzone w laboratorium badawczym radiointroskopii.

Praca w Zakładzie Układów Elektronicznych oprócz prac badawczych, związana była też z prowadzeniem zajęć dydaktycznych ze studentami Wydziału Elektroniki. W Zakładzie prowadzono zajęcia z podstaw oraz zaawansowanych elementów i układów elektronicznych. Prowadzono wykłady, ćwiczenia projektowe oraz zajęcia laboratoryjne.

W trakcie pracy w Zakładzie Układów Elektronicznych Andrzej Prałat objął stanowisko profesora nadzwyczajnego Politechniki Wrocławskiej – 1999r..



Rys. 2. Zakład Układów Elektronicznych 2001 rok. Stoją od lewej: S. Wójtowicz, R. Zdunek, C. Dengler, R. Żarko, K. Maniak, G. Beziuk, R. Mydlikowski, J. Byszewski, W. Jaworski. Siedzą od lewej: M. Kukawczyński, B. Wolszczak, A. Prałat, J. Stanclik

Od roku 2001 prace w laboratorium radiointroskopii skupione były na czterech głównych obszarach badania gruntu w zastosowaniu nielektronikacyjnym. Prace te zostały zwieńczone uzyskaniem kolejnych czterech tytułów doktorskich w zespole oraz jednego tytułu habilitacyjnego. Tematyka prowadzonych badań była skupiona na:

– badaniach niejednorodności obszaru skalnego zawartego między dwoma odwiertami przez prześwietlanie falami elektromagnetycznymi oraz zastosowaniu algorytmów tomograficznych do uzyskania obrazu rozkładu współczynnika tłumienia fal w badanym obszarze,

– budowie systemu do pomiarów parametrów elektrycznych ośrodka z wykorzystaniem właściwości impedancji wzajemnej dwóch anten magnetycznych, umożliwiającego badanie w ciągły sposób niejednorodności wałów przeciwpowodziowych. W późniejszym czasie rozszerzone dodatkowo o badania prowadzone radarem do penetracji gruntu GPR,

– badaniach stabilności osuwisk ziemi na podstawie emitowanego anomalnego promieniowania elektromagnetycznego,

– badaniach promieniowania elektromagnetycznego skał w chwili poddawania ich zwiększonemu naprężeniu mechanicznemu w celów prognozowania zagrożenia powstania zawału kopalnianego i budowy systemów bezpieczeństwa ostrzegających o możliwości zagrożenia w kopalni.

W dalszej części artykułu, tematyka poszczególnych badań zostanie bardziej szczegółowo przedstawiona.

Na przestrzeni ponad 50 lat działalności laboratorium radiointroskopii, związanego z pracami badawczo-rozwojowymi przy badaniach gruntu, zaowocowały ponad

350 publikacjami naukowymi w czasopiśmie polskich i zagranicznych. Wieloma wystąpieniami konferencyjnymi, realizacją grantów naukowych oraz bezpośrednią współpracą z przemysłem zwieńczonymi wdrożeniami prototypowych rozwiązań konstrukcyjnych. Efektem prac badawczych i wdrożeniowych jest 16 patentów chroniących prototypowe rozwiązania. Na podstawie prowadzonych prac w laboratorium zrealizowano 4 prace doktorskie oraz dwie habilitacyjne. Laboratorium do dziś prowadzi badania nad nielektronikacyjnym wykorzystaniem pola EM.

Twórca laboratorium, profesor Andrzej Prałat za swoją wieloletnią pracę zawodową został odznaczony Złotym Krzyżem Zasługi, Złotą Odznaką Politechniki Wrocławskiej, Złotą Odznaką Honorową Stowarzyszenia Elektryków Polskich oraz Złotą Odznaką NOT. Otrzymał medale: Prof. J. Groszkowskiego, Prof. K. Idaszewskiego oraz medal 100-lecia Uczelni Technicznych we Wrocławiu. Jest zasłużonym seniorem Stowarzyszenia Elektryków Polskich oraz członkiem The Institute of Electrical and Electronics Engineers w którym uzyskał stopień Senior Member IEEE.

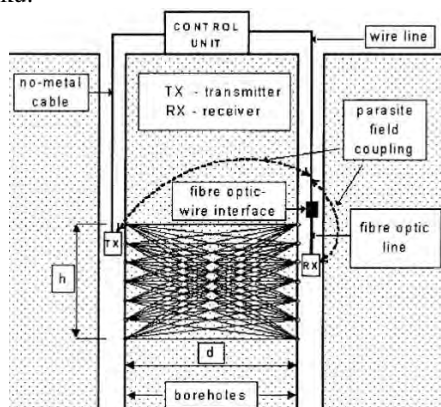
Na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej przez 32 lata był także Prezesem Koła SEP nr 52 (1974-2006) Wrocławskiego oddziału SEP.

2. TOMOGRAFIA GEOFIZYCZNA

W laboratorium prowadzono badania z zakresu rekonstrukcji obrazu w geotomografii elektromagnetycznej. Ten rodzaj tomografii był stosowany do analizy ziemi w przekroju pomiędzy dwoma odwiertami przy pomocy fal elektromagnetycznych (rys. 3). Profesor Prałat był inicjatorem tego typu badań w Polsce, a technologia, którą rozwijał mogła być stosowana do niedestrukcyjnego i małoinwazyjnego poszukiwania obszarów, na których występują szkody górnicze. Jednym z wyzwań badawczych występujących w tej metodzie obrazowania ziemi jest zagadnienie rekonstrukcji obrazu. Problem polegał na tym, że w tego rodzaju tomografii dostęp do badanego obiektu był znacznie ograniczony, bowiem można było prześwietlać badany obszar tylko z dwóch stron, tzn. pomiędzy odwiertami. Taka konfiguracja rozlokowania anten nadawczej i odbiorczej powodowała, że zakres kątowy promieni elektromagnetycznych pokrywających badany obszar był bardzo ograniczony. To z kolei przekładało się wprost na trudności natury matematycznej w rozwiązywaniu zadania rekonstrukcji obrazu. Z związku z tym ograniczeniem, wiele efektywnych metod rekonstrukcji obrazu stosowanych w tomografii medycznej nie mogło być tutaj zastosowanych. Z matematycznego punktu widzenia, zadanie rekonstrukcji obrazu w geotomografii elektromagnetycznej sprowadzało się do zadania rozwiązania nieokreślonego układu równań liniowych sprzecznych, w którym macierz systemowa była niepełnego rzędu. Konieczne więc było zastosowanie odpowiedniej techniki regularyzacji. W laboratorium badano bardzo wiele różnych podejść algorytmicznych i technik regularyzacji. Zwieńczeniem tego kierunku badań była praca doktorska [2] autorstwa profesora Rafała Zdunka.

Badania w tym zakresie kontynuowane są do dnia dzisiejszego, rozszerzając standardową geotomografię elektromagnetyczną do wersji dyskretnej, w której współczynnik tłumienia fal może przyjmować tylko wartości dyskretne. To podejście znacząco osłabiało negatywny wpływ ograniczonego zakresu sondowania promieniami elektromagnetycznymi. Powstały też efektywne metody do

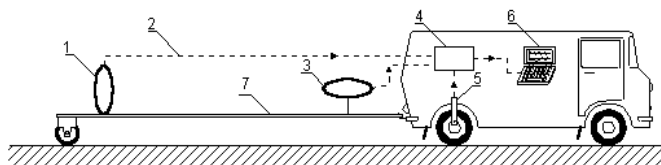
szacowania parametru regularyzacji na podstawie danych pomiarowych. Kontynuacja badań w tym zakresie zwieńczona została pracą habilitacyjną profesora R. Zdunka w 2014 roku.



Rys. 3. Tomografia geofizyczna, zasada działania

3. APARATURA DO BADANIA WAŁÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH

W laboratorium prowadzono również badania nad pomiarem impedancji wzajemnej układu anten magnetycznych, zbliżonych do ośrodka półprzewodzącego jakim jest grunt. Wyznaczana w czasie pomiarów impedancja jest funkcją parametrów elektrycznych badanego ośrodka. Wykorzystując tę zależność zbudowano aparaturę, która w czasie rzeczywistym mierzy impedancję wzajemną anten prowadzonych nad wałem przeciwpowodziowym (rys. 4).



Rys. 4. Schemat blokowy systemu pomiarowego do wyznaczania impedancji wzajemnej układu anten ramowych: 1, 3 – anteny ramowe, 2 – kabel światłowodowy, 4 – przetwornik A/C układ transmisji RS 232, 5 – miernik przemieszczenia, 6 – komputer przenośny, 7 – wózek pomiarowy

Wybierając odpowiednią konfigurację anten ich geometrię oraz częstotliwość pola elektromagnetycznego, które wnika w badany ośrodek gruntu, można uzyskać wymaganą głębokość penetracji układu i najmniejsze wymiary lokalizowanej niejednorodności.

Analiza otrzymanych wyników pomiarowych pozwala wskazać miejsca w strukturze wałów o zmienionej impedancji. Miejsca, które można wskazać jako anomalne z zaburzoną strukturą na skutek uszkodzenia wału przeciwpowodziowego np. poprzez: wrastanie korzeni drzew, naprawianie wyrwy w strukturze wałów, nory małych ssaków, podmywanie wału czy też inne uszkodzenia struktury poprzecznej budowli hydrotechnicznej.

Głównym opiekunem tej tematyki był doktor Grzegorz Beziuk, który zakończył swoje prace rozprawą doktorską [3] w 2004 r. (rys.5).

W późniejszym terminie do zespołu dołączył doktor Remigiusz Mydlikowski, którego zadaniem było rozszerzenie badań struktury wałów przeciwpowodziowych o wykorzystanie radaru do penetracji gruntu GPR (rys. 6).

Uzyskiwane wyniki zarówno z metody anten ramowych jak i radaru GPR okazywały się bardzo precyzyjne i zbieżne ze sobą. Z wykorzystaniem obu metod pomiarowych, przy współpracy z Regionalnym Zarządem Gospodarki Wodnej, przeprowadzono badania struktur wałów przeciwpowodziowych na wielu rzekach Wrocławia i Dolnego Śląska.



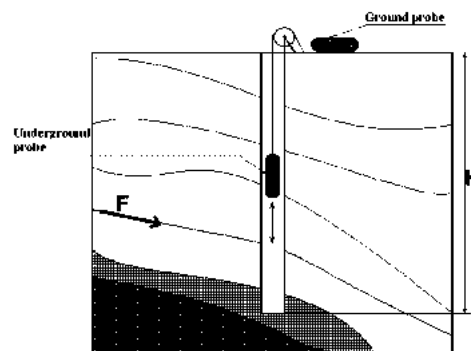
Rys. 5. Dr. G. Beziuk nad systemem anten magnetycznych



Rys. 6. Radar GPR z anteną; a) osłoniętą; b) nieosłoniętą

4. APARATURA DO BADANIA OSUWISK

Z literatury wiadomo, że skały i grunty poddane zwiększonemu naciskowi mechanicznemu stają się źródłem emisji pól elektromagnetycznych o charakterze impulsowym. Bazując na tym zjawisku w laboratorium radiointroskopii opracowano nową metodę badania osuwisk opartą o rejestrację wypadkowego natężenia pola magnetycznego w funkcji głębokości.



Rys. 7. Sposób prowadzenia pomiarów w odwiercie pomiarowym

Na rysunku 7 przedstawiono sposób prowadzenia pomiarów. Sonda podziemna rejestruje właściwy sygnał EM powstający w aktywnym osuwisku pod wpływem procesów geodynamicznych. Sonda naziemna umożliwia obserwację zaburzeń elektromagnetycznych mogących negatywnie wpływać na proces pomiarów. W procesie obróbki uzyskanych sygnałów możliwe jest wyeliminowanie pasożytniczego sygnału zaburzającego od właściwej emisji przez aktywne osuwisko.

Praca została zakończona budową unikalnej aparatury rys. 8 i rozprawą doktorską Krzysztofa Maniaka [4]. Zaprojektowane urządzenie otrzymało ochronę patentową.



Rys. 8. Systemu pomiarowy do badania emisji elektromagnetycznej z osuwisk: 1 – bęben karotażowy z przewodem światłowodowym; 2 – sonda podziemna; 3 – blok przetwarzania; 4 – odbiornik naziemny; 5 – komputer PC

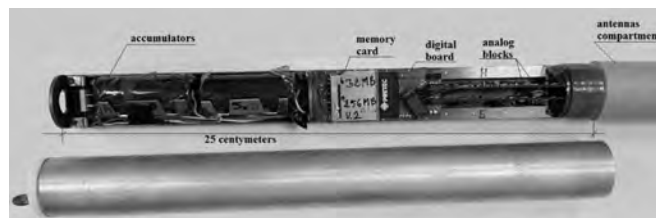
5. BADANIE PROMIENIOWANIA EM ZE SKAŁ

Skały poddane dużym niszcącym obciążeniom mechanicznym stają się źródłem impulsowego promieniowania elektromagnetycznego. Zjawisko to może być wykorzystywane jako prognostyk powstającego trzęsienia ziemi i znanych jest co najmniej kilka światowych rozwiązań aparaturowych przystosowanych do tych pomiarów. W laboratorium radiointroskopii jako jednym z pierwszych na świecie podjęto prace nad wykorzystaniem tego zjawiska jako prognostyk powstających tąpnięć kopalnianych.

Prowadzono badania wstępne przy zgniataniu próbek skalnych pochodzących z różnego rodzaju skał. Rejestrowano powstającą samoistnie emisję pola EM na podstawie której określano intensywność emitowanego sygnału oraz jego rozkład widmowy.

Szereg przeprowadzonych badań pozwolił na skonstruowanie autonomicznego odbiornika obu składowych pola tj. elektrycznej i magnetycznej w zespolonej obudowie (rys. 9). Odbiornik taki może pracować w warunkach kopalnianych samodzielnie w otworze wiertniczym do ok. miesiąca, rejestrując podwyższone (anomalne) poziomy emisji pola EM. Urządzenie to chronione jest patentem. Analiza w czasie rzeczywistym sygnałów pozwala na wczesne prognozowanie powstającego naprężenia skalnego, prowadzącego do zawалу kopalnianego.

Obecnie prace te są kontynuowane w laboratorium przez autorów [5]. Planowana jest budowa systemu połączonych odbiorników, tworzących sieć wczesnego ostrzegania o możliwości powstania tąpnięcia kopalnianego.



Rys. 9. Zespolony odbiornik pola elektromagnetycznego

6. WNIOSKI KOŃCOWE

W laboratorium radiointroskopii w czasie swojej długoletniej działalności powstało wiele unikalnych, prototypowych rozwiązań aparatury pomiarowej stosowanej dla potrzeb geofizyki i geologii.

Prace w laboratorium prowadzone były zawsze na wysokim poziomie merytorycznym co potwierdzają liczne publikacje krajowe i zagraniczne (powyżej 300 artykułów). Powstała w laboratorium prototypowa aparatura chroniona jest 16 patentami. Realizowane badania zaowocowały czterema doktoratami, którymi promotorem był twórca laboratorium profesor Andrzej Prałat.

Autorzy artykułu kontynuują prace w laboratorium radiointroskopii nad rozbudową systemu do pomiaru emisji EM ze skał w warunkach kopalnianych. Jednocześnie poszukuje się nowych dziedzin badawczych wykorzystania fal EM w zastosowaniach nitelekomunikacyjnych przy wykrywaniu niejednorodności w gruncie.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Prałat A.: Zastosowanie pól elektromagnetycznych wielkiej częstotliwości do badania niejednorodności ośrodka skalnego. Monografia nr 73, Politechnika Wrocławska 1993 (praca habilitacyjna).
2. Zdunek R.: Optymalizacja metod rekonstrukcji obrazu rozkładu współczynnika tłumienia fal elektromagnetycznych w ziemi. Rozprawa doktorska, Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska, 2002.
3. Beziuk G.: Impedancja wzajemna układu anten ramowych pracujących przy wielkiej częstotliwości, umieszczonych w pobliżu niejednorodnego ośrodka półprzewodzącego. Rozprawa doktorska, Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska, 2005.
4. Maniak K.: Badanie zjawisk elektromagnetycznych występujących na osuwiskach. Rozprawa doktorska, Wydział Elektroniki, Politechnika Wrocławska, 2008.
5. Maniak K., Mydlikowski R.: Autonomous instrumentation for measuring electromagnetic radiation from rocks in mine conditions—a functional analysis. *Sensors* vol. 22, 2022.

ACTIVITIES OF THE RADIOINTROSCOPY LABORATORY AT THE ELECTRONICS DEPARTMENT OF THE WROCLAW UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

The paper presents the history of the radiointrospection laboratory established at the Wrocław University of Science and Technology. The laboratory in its over 50 years of history dealt with the study of electromagnetic fields emitted by rocks and soil subjected to mechanical stress. The laboratory focuses on building prototype research apparatus and field measurements. The implementation of the radiointrospection subject matter is crowned with many publications, 16 patents, 4 doctorates and 2 habilitation theses. The laboratory continues its research to this day, seeking new research areas of application of electromagnetic waves in non-telecom applications.

Keywords: radiointrospection laboratory, soil testing, electromagnetic field emission, rocks.