

PRZEMYSŁAW KISZKOWSKI
Zakład Nauczania Eksperymentu Fizycznego
Instytut Fizyki UAM
JACEK WRZESIŃSKI
Muzeum Pierwszych Piastów na Lednicy

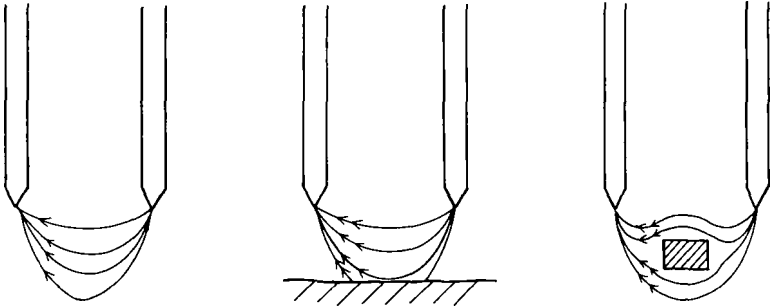
PROSPEKCJA ELEKTROOPOROWA OSTROWA LEDNICKIEGO

Archeolodzy coraz częściej mają świadomość, iż tradycyjne metody badawcze są długotrwałe i nierzadko łączą się z wysokimi kosztami, a ponadto niszczą z reguły bezpowrotnie odkrywane warstwy i obiekty nieruchome. Dlatego też od wielu lat zaznacza się tendencja do prowadzenia badań interdyscyplinarnych. Współpraca różnych dziedzin nauki, często posługujących się innym warształem badawczym, innymi metodami i językiem, oraz zajmujących się inną problematyką, pozwala zwiększyć możliwości poznawcze, a zastosowane metody przynoszą zaskakujące i niezwykle interesujące wyniki. Wśród dyscyplin, z jakimi archeolodzy współpracują od wielu lat, jest fizyka, a metoda elektrooporowa stosowana od lat 40-tych, w ostatnim czasie przeżywa swój renesans. Wywodząca się z metod geofizycznych jest spośród nich najdłużej stosowaną dla potrzeb archeologii. Wykorzystywana początkowo przy poszukiwaniach geologicznych (złóż rud i minerałów) na szerszą skalę dla potrzeb archeologii wprowadzona została w latach 40-tych m. in. przez Atkinsona (R. C. J. Atkinson 1952; M. J. Aitken 1974, s. 267 – 285). W Polsce zaczęto ją stosować już pod koniec lat 50-tych (K. Dąbrowski, W. Stopiński 1961; M. Lemberger 1969; Z. Bukowski 1969; T. Lenkiewicz, W. Stopiński 1969; K. Misiewicz 1984; T. Herbich, K. Misiewicz 1990; T. Herbich 1993; 1994).

Jak dotąd w literaturze archeologicznej brak jest opracowania tej metody (zastosowanej do wykrywania „struktur podziemnych”) od strony teoretycznej.

Opiera się ona na prostej zasadzie przepływu prądu między elektrodami wbitymi w grunt i połączonymi ze źródłem prądu. Obecność struktur geologicznych (a w tym przypadku obiektów archeologicznych) powoduje zmiany mierzonego oporu rejestrowane podczas przepływu prądu elektrycznego w ziemi.

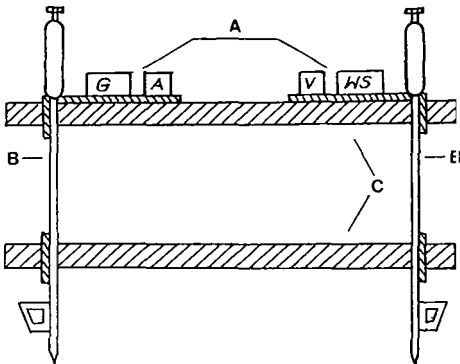
Zasadę działania metody elektrooporowej najlepiej zrozumieć na przykładzie prądu wody. Do zbiornika z wodą wprowadzamy dwie rury: jedna — doprowadza wodę, a druga ją odbiera. Ilość wody wypływającej, względnie wpływającej obrazuje natężenie prądu (I). Natomiast prędkość wody — napięcie (U). Jak widać na rysunkach (ryc. 1) zarówno obecność dna zbiornika, jak i pojawienie się przeszkody między dwiema rurami powoduje przyspieszenie wody na powierzchni. Tak więc występowanie przeszkód podwodnych objawia się przyspieszeniem prądu wody obserwowanym na



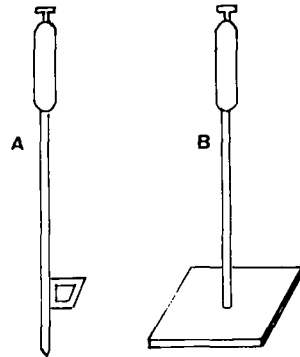
Ryc. 1. Zaburzenia przepływu prądu wody. Rys. M. Łomnicki

powierzchni i nie musimy nurkować, aby stwierdzić ich istnienie. Podobnie jest z metodą elektrooporową. Zarówno doprowadzenie prądu, jak i pomiar napięcia, dokonuje się na powierzchni ziemi. Mimo to możemy wnioskować o istnieniu czegoś o innym oporze właściwym pod jej powierzchnią.

Do pomiaru oporu elektrycznego stosuje się prawo Ohma: $R = \frac{U}{I}$. Dlatego konieczny jest pomiar dwu wielkości: napięcia U i natężenia I . Jednostką napięcia jest volt — V (w pomiarach elektrooporowych zwykle posługujemy się jednostką milivolt — mV, 1000 mV = 1 V). Jednostką natężenia jest amper — A (w pomiarach elektrooporowych zwykle posługujemy się jednostką miliamper mA, 1000 mA = 1 A).

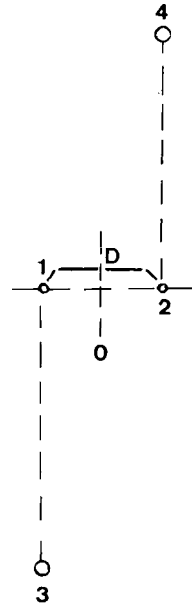


Ryc. 2. Zestaw pomiarowy. A — przyrządy pomiarowe;
B — elektrody; C — ramy łączące
(wg H. Janus-Żebrowskiej 1992)



Ryc. 3. Elektrody używane podczas badań. A — elektroda wbijana;
B — elektroda przykładana.
(rys. M. Łomnicki)

Ryc. 4. Układ potencjometryczny. 1,3 — elektrody prądowe; 2,4 — elektrody napięciowe; D — stały rozstaw elektrod; 0 — punkt odniesienia pomiarów. Rys. M. Łomnicki



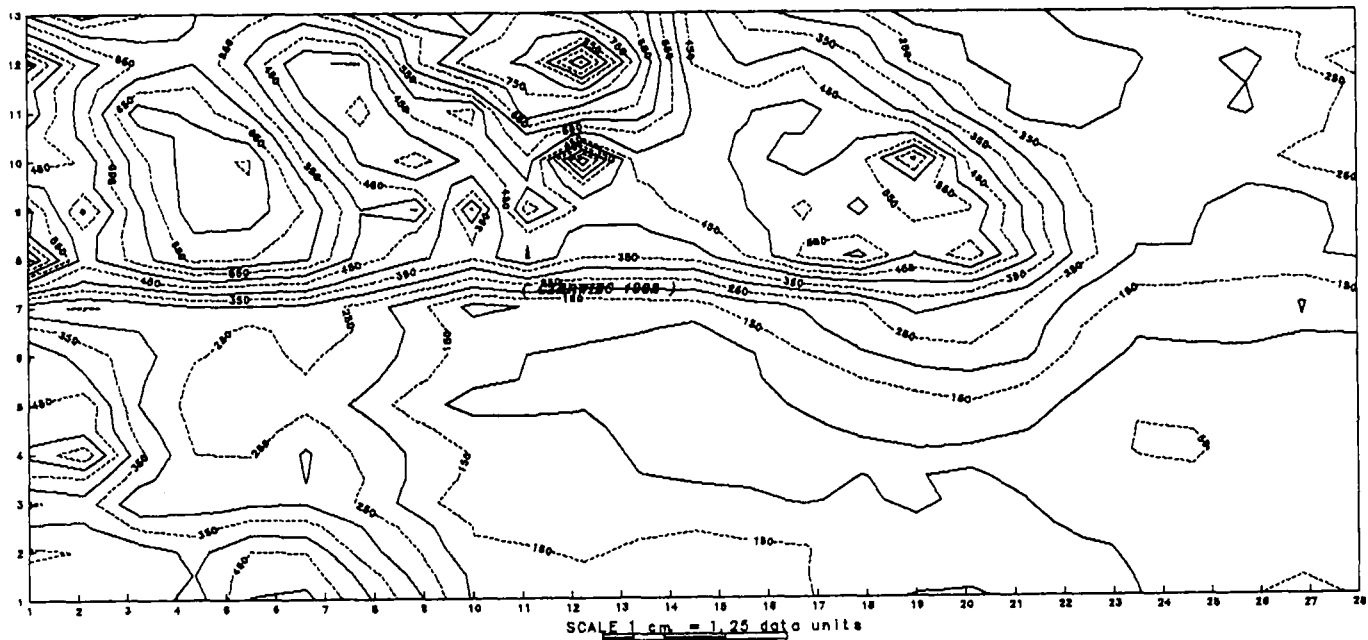
Opór właściwy to opór kostki (danego materiału) o wymiarach $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ mierzony między dwiema płytami metalowymi o wymiarach $1\text{ m} \times 1\text{ m}$, przyłożonymi do dwu przeciwległych ścian sześciangu. Jeżeli w sześciangu służącym do pomiaru oporu właściwego wprowadzimy dodatkowo inny materiał, to jego obecność zobrazowana zostanie zmianą wielkości oporu właściwego.

Mało jest takich wielkości fizycznych, które podlegałyby takiej zmianie w zależności od rodzaju materiału, jak opór właściwy. Dla próżni jest on nieskończony. Dla izolatorów (np. siarka, szkło, ropa naftowa, tworzywa sztuczne) wynosi ponad 10^8 — czyli powyżej stu milionów omometrów. Dla najlepiej przewodzących metali (np. srebro, miedź) opór właściwy jest mniejszy niż 10^{-5} — czyli poniżej stutysięcznej omometra. Obserwuje się także zjawisko nadprzewodnictwa — opór właściwy niektórych materiałów przy bardzo niskich temperaturach spada do zera¹. Nas jednak interesują przede wszystkim materiały, z jakich składa się górna warstwa skorupy ziemi. Elektryczny opór właściwy zmienia się tutaj także, lecz nie w takich granicach, o jakich była mowa wyżej.

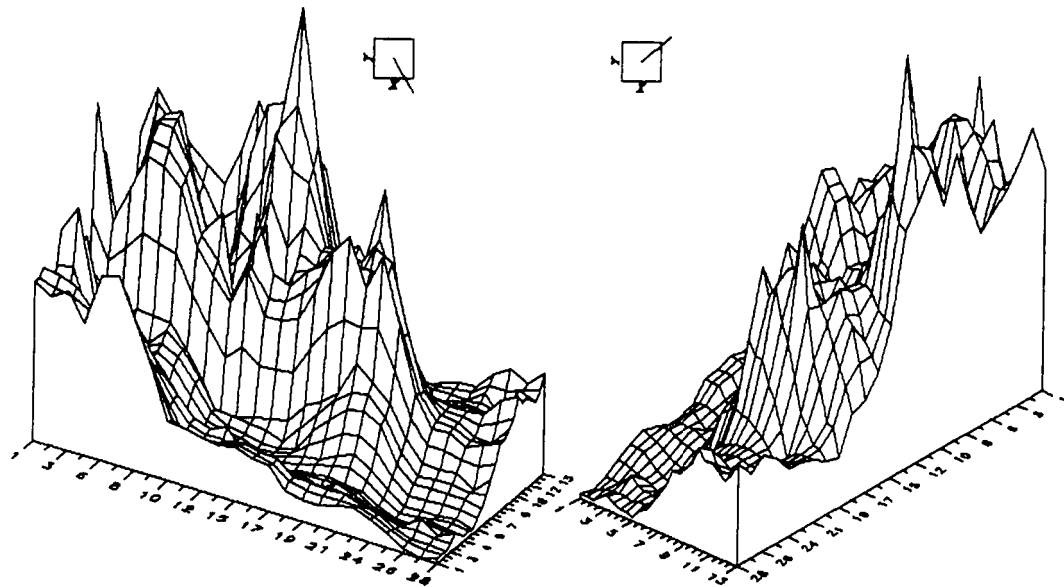
Na Ostrowie Lednickim dokonano pomiaru elektrycznego oporu właściwego próbek gleby od obecnej powierzchni wyspy do ok. 1m: dla wilgotnej gliny bądź iłu otrzymano wartości od 10 do 500 Ω m, dla mokrego piasku 500 do 1000 Ω m, dla suchego piasku ok. 2000 Ω m, a dla materiałów nieporowatych (np. kamienie, cegły) jeszcze wyższe. Teoretycznie więc jest możliwe wykrycie (niewidocznych na powierzchni) fundamentów kamiennych czy ceglanych, lecz także rowów, fos itp. zagłębień wypełnionych innym materiałem niż otoczenie, oraz podziemnych pustych komór grobowych, piwnic itp.

Podczas prospekcji elektrooporowej na Ostrowie Lednickim zastosowano układ 4 elektrod. Obecnie w fizyce, jak i w geofizyce, stosuje się wyłącznie układy 4-elektrodowe, ale spotyka się kilkanaście konfiguracji (M. J. Aitken 1974; J. Dźwiniel 1978). Ogólnie w każdym układzie 4-elektrodowym 2 służą do doprowadzenia prądu do ziemi, a 2 inne do pomiaru napięcia. Oba zestawy elektryczne są od siebie oddzielone i niezależne. Dla zilustrowania posłużymy się tu przykładem zaczerpniętym z systemu rządzenia. Gdy władza ustawodawcza i sądownicza były skupione w jednym ręku, np. króla czy księcia, to mógł on sprawować władzę tylko w stosunkowo bliskiej odległości od swojej siedziby i wobec niewielkiej liczby ludzi. Przy rozdzieleniu władzy

¹ Pojawiające się co pewien czas teorie przewidują występowanie oporu elektrycznego mniejszego od zera, czego jednak nie potwierdzają wyniki otrzymywane podczas eksperymentów (P. Yan 1993, s. 11–13).



Ryc. 5. Wykres izooporowy



Ryc. 6. Wykres pseudotrójwymiarowy

prawo sięga dalej, a lokalne sądy wchodzą jakby głębiej, obejmując ludzi oddalonych od siedziby władcy.

Pierwsze próby zastosowania omawianej metody na Ostrowie Lednickim sięgają 1984 r.² Początkowo posługiwano się zestawami przygotowywanymi każdorazowo na sezon badawczy, a zasadą generalną było niezależnienie się od sieci elektrycznej, co dawało swobodę poruszania i niezależność od krajowej sieci energetycznej. Ze stosowanych podczas pomiarów różnych konfiguracji elektrod wybrano układ sprawdzający się najlepiej na badanym przez nas stanowisku. Dwie elektrody są przestawiane, a dwie pozostałe (elektrody odniesienia) odsunięte są na dużą odległość kilkadziesiąt razy większą od rozstawu elektrod ruchomych. Układ taki określa się jako potencjometryczny (J. Dźwiniel 1978), lub też twin probe (M. J. Aitken 1974). Podczas badań zastosowano elektrody i zestaw pomiarowy w skład którego weszły: generator prądu zmiennego 1000 Hz i 1,5 V jako źródło prądu, wzmacniacz selektywny 1000 Hz (oba przyrządy zasilane akumulatorami) oraz dwa mierniki cyfrowe (*Multimetry*) (ryc. 2)³. Na Ostrowie Lednickim dokonano także prób z elektrodami przykładowymi (ryc. 3)⁴. W praktyce posłużono się nimi, z powodzeniem, podczas badań kościoła w Lubiniu⁵, a obecnie wykorzystywane są podczas prac w kościele poddominikańskim w Poznaniu i w Sławsku (J. Bator i in., w druku).

Stosowany przez nas układ potencjometryczny najlepiej można zilustrować posługując się ponownie analogią z prądem wody. W stawie, gdzie jedną rurą tłoczmy wodę, a drugą ją odbieramy, obserwujemy, iż koło pierwszej poziomu wody się podniesie, a koło drugiej obniży. To podwyższenie (ewentualnie obniżenie) jest tym większe, im silniejszy jest strumień płynącej wody — co jest analogią z natężeniem prądu elektrycznego. Analogią do pomiaru napięcia będzie tutaj podniesienie się wody w pobliżu rury pompującej. Zasada pomiarów elektrycznych jest bardzo zbliżona do wyżej opisanego układu i podejście matematyczne jest bardzo podobne.

Z zastosowanych przez nas 4 elektrod dwie — 1 i 2 są nieruchome i oddalone od siebie o kilkadziesiąt metrów, oraz od właściwego miejsca pomiaru. Dwie pozostałe 3 i 4 są ruchome, lecz umieszczone w stałej odległości od siebie — podczas prowadzonych przez nas pomiarów rozstaw ten (D) wynosił 1 m (ryc. 4). Prąd wprowadzany był przy pomocy jednej elektrody nieruchomej (1) i jednej ruchomej (3), a napięcie mierzono między elektrodą nieruchomą (2) i ruchomą (4). Doświadczenie wynikające z prac w terenie, a także prowadzone przez nas badania modelowe i rozważania teoretyczne⁶ doprowadziły w praktyce do stosowania zamiennie elektrod ruchomych (prze-

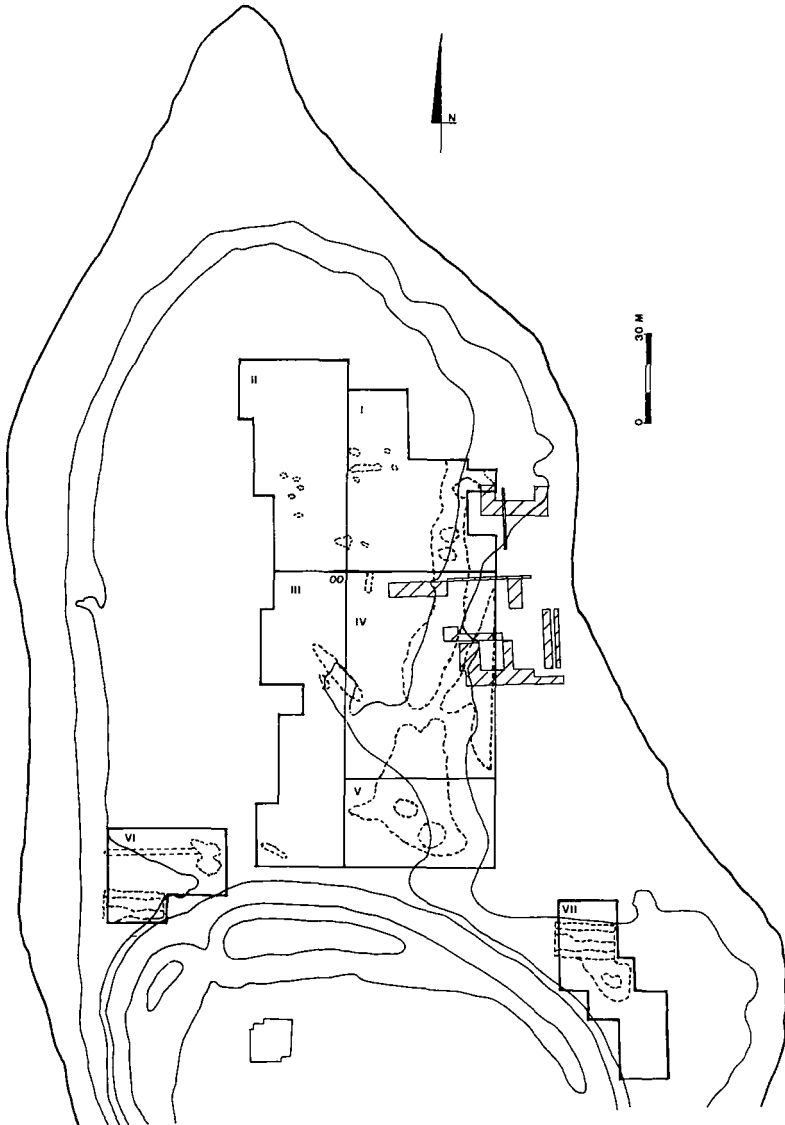
² W tym miejscu autorzy chcieliby złożyć serdeczne podziękowania wszystkim uczestnikom obozów na Lednicy. Dzięki ich bezinteresownej pomocy możliwe było przeprowadzenie badań i dzięki nim mogliśmy dokonać niniejszego podsumowania wyników.

³ Konstruktorem generatora jest Jerzy Jankowski, wzmacniacza Roman Smuszkievicz, natomiast całego zestawu i użytych w nim elektrod Marek Wieczorek.

⁴ Ich pomysłodawcą jest prof. Henryk Szydłowski.

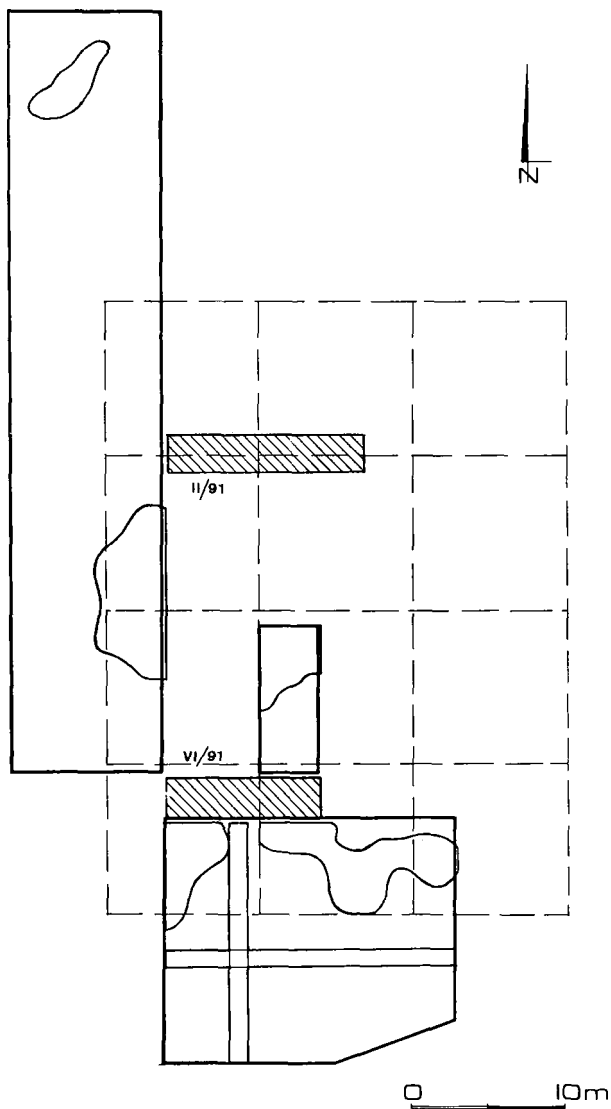
⁵ Badania prowadzi prof. Zofia Kurnatowska, a wyniki badań elektrooporowych były tematem pracy magisterskiej Aldony Wąsik.

⁶ W wyniku badań elektrooporowych na Ostrowie Lednickim w Zakładzie Nauczania Eksperymentu Fizycznego Instytutu Fizyki UAM w Poznaniu powstały prace magisterskie: modelowe — Krzysztofa Kosteckiego i Jacka Batora, teoretyczna — Sławomira Jachczyka, podsumowująca badania — Hanny Janus-Żebrowskiej.

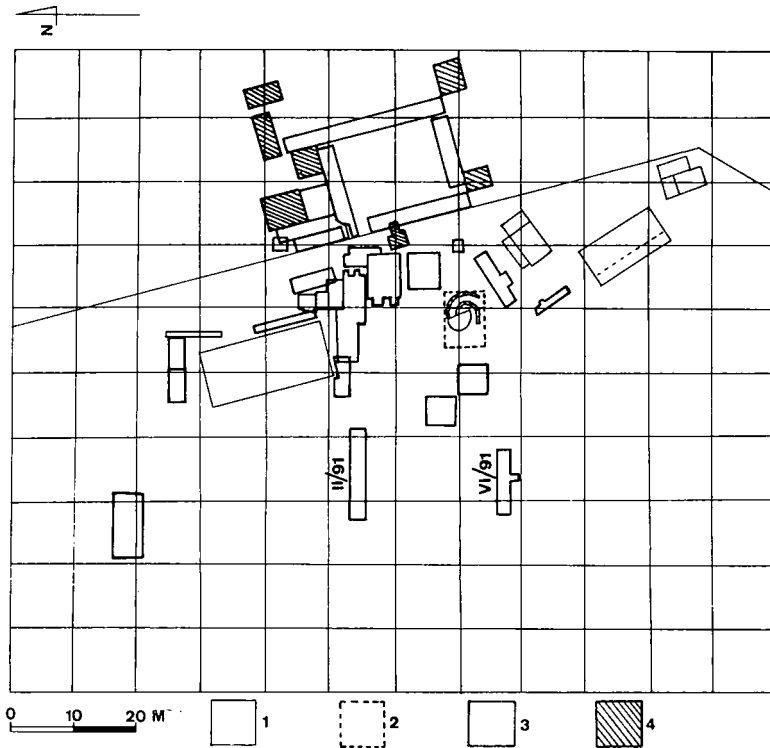


Ryc. 7. Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko I. — tereny objęte prospekcją elektrooporową;
 ---- obszary o anomaliach oporu; ▨ wykopy archeologiczne; 00 — reper państwowy.

(rys. M. Łomnicki)



Ryc. 8. Dziekanowice, stanowisko 22. — tereny objęte prospekcją elektrooporową;
 ---- obszary anomalii oporu; ▨ wykopy archeologiczne
 (rys. W. Kujawa)



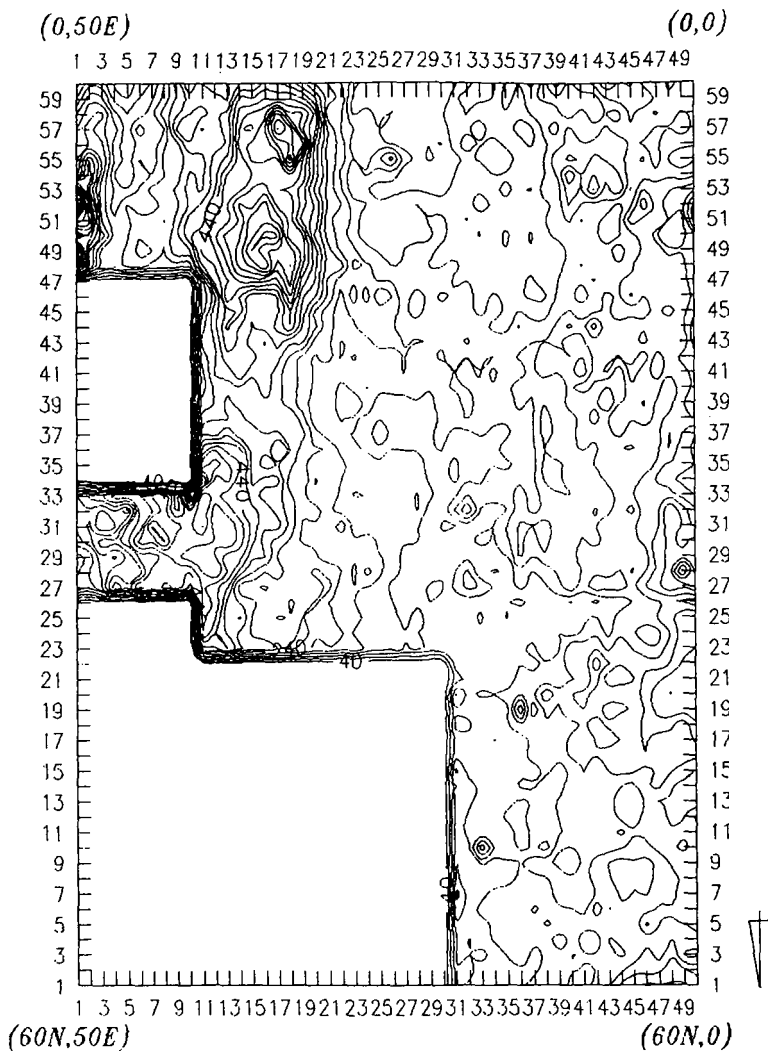
Ryc. 8a. Dziekanowice, stanowisko 22. Usytuowanie wykopów. 1 — Drewniane budynki tzw. Małego Skansenu; 2 — wykop z 1964 r.; 3 — wykopy z lat 1976–1992; 4 — wykopy z 1993 r.

suwanie krokowe). Taka zamiana nie wpływała na uzyskane wyniki, a znacznie zwiększała szybkość pomiaru.

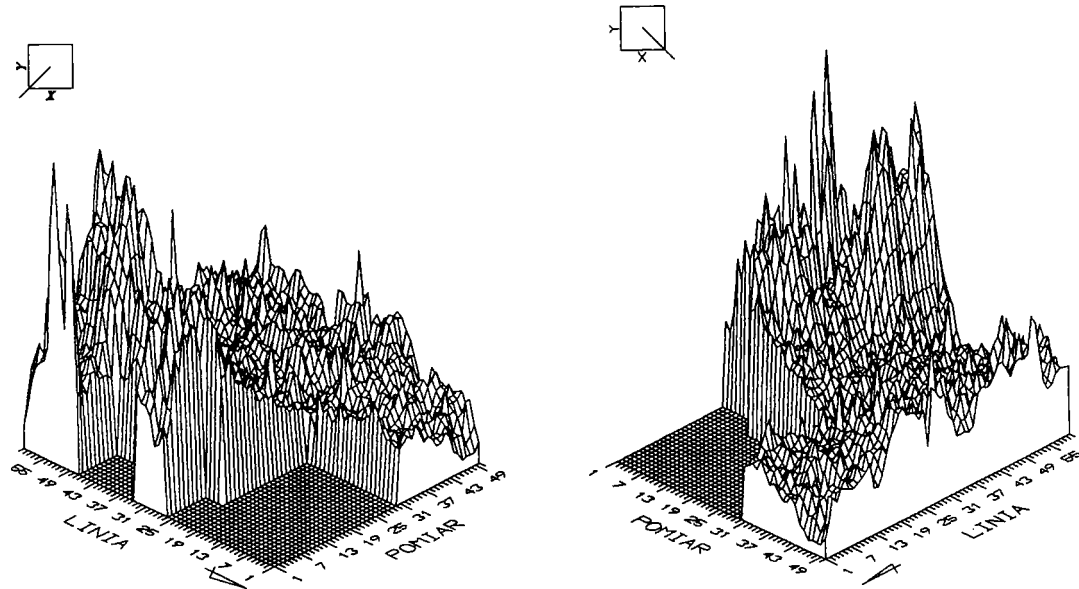
Pomiar w metodzie elektrooporowej jest pomiarem punktowym. Wiemy zatem tylko to, co się dzieje w danym punkcie i dlatego też konieczne jest zestawienie z innymi miejscami. Właśnie porównanie z otoczeniem dostarcza pożytecznych informacji.

Celem uzyskania odpowiedniej ilości pomiarów możemy postępować dwójako:

1. przeprowadzamy pomiary wzdłuż linii przy jednakowym odstępach punktów pomiarowych (tzw. profil — przekrój). Jest to szybka metoda — pojedynczy pomiar trwa 10 do 30 sekund. Jednak dużo czasu zajmowało rozstawienie aparatury i wykrywanie omyłek, błędów połączeń itp. Przy stosowanym przez nas przesuwaniu elektrod o 1m linia o długości 100 metrów mierzona była w czasie ok. pół godziny. Interpretacja wyników jest jednak niepewna i często wieloznaczna.



Ryc. 9. Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2. Wykres izooporowy obszaru I (por. ryc. 7). 1, 3, 5 ... — numeracja kolejnych linii siatki pomiarowej; 60N, 50E — oznaczenie odległości granicznych (w metrach) od punktu 00 — reper państwowy na podgrodziu (wg H. Janus-Zebrowskiej 1992)



Ryc. 9a. Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2. Wykres pseudotrójwymiarowy obszaru I (por. ryc. 7). 1, 7, 13 ... — numeracja kolejnych linii siatki pomiarowej; X — pomiar — oś wschód-zachód; Y — linia — oś północ-południe (wg H. Janus-Żebrowskiej 1992)

2. przeprowadzamy pomiar wzdłuż szeregu linii pomiarowych równoległych do siebie. Podczas naszych badań zastosowano przesuwanie elektrod o 1 m w liniach, a te były odległe od siebie również o 1 m. Otrzymaliśmy dzięki temu jeden pomiar na metr kwadratowy. Jeżeli odległość linii jest równa odległościom pomiarów w linii mamy siatkę kwadratową, a gdy większa lub mniejsza prostokątną.

Podczas prac na Lednicy wykonywano do 800 pomiarów w ciągu dnia pracy. Wyniki zapisywane były na protokołach i wciągane do komputera. Po opracowaniu przez program komputera (zastosowano Surfer — T. Tański 1991) uwidaczniane były na mapkach kilku rodzajii i służyły do interpretacji wyników. Należy pamiętać, iż najważniejszy jest kształt obiektu na mapce (co podkreślano w literaturze już od początku stosowania tej metody), a nie wartości bezwzględne oporów właściwych, które są w zasadzie tylko orientacyjne.

W celu zobrazowania pomiarów posługiwaliśmy się mapami oporowymi wykonanymi w dwojaki sposób:

1. mapy bezpośrednie — powstające poprzez nanoszenie barw (zróżnicowanych w zależności od wartości oporu) na skalowaną mapę badanego terenu. Metoda pracochłonna, lecz umożliwiająca natychmiastowe, stosunkowo łatwe odczytowanie i interpretowanie wyników.
2. mapy wykonywane na podstawie obróbki komputerowej. Wykreślane albo w postaci linii izooporowej (ryc. 5), albo w postaci wykresów pseudotrójwymiarowych (ryc. 6).

Mapy izooporowe o „wygładzonych” liniach są rezultatem pewnego uśrednienia eliminującego zakłócenia.

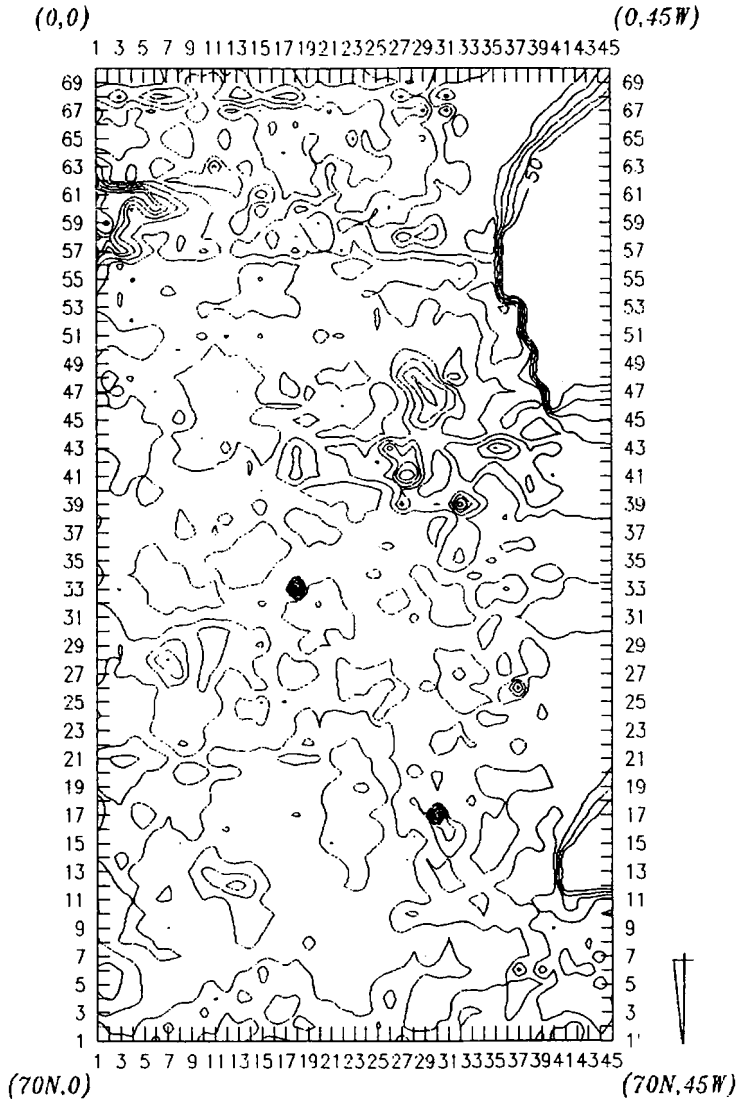
Wykresy pseudotrójwymiarowe są najbardziej pogładowe, lecz trudne do bezpośredniego porównania z mapą terenu.

Sprawą niezwykle ważną i istotną jest, aby uzyskane wyniki przedstawione zostały w sposób czytelny i obrazowy, co ułatwia interpretację, a jednocześnie możliwie dokładnie ukazuje każdą anomalię wahnięć.

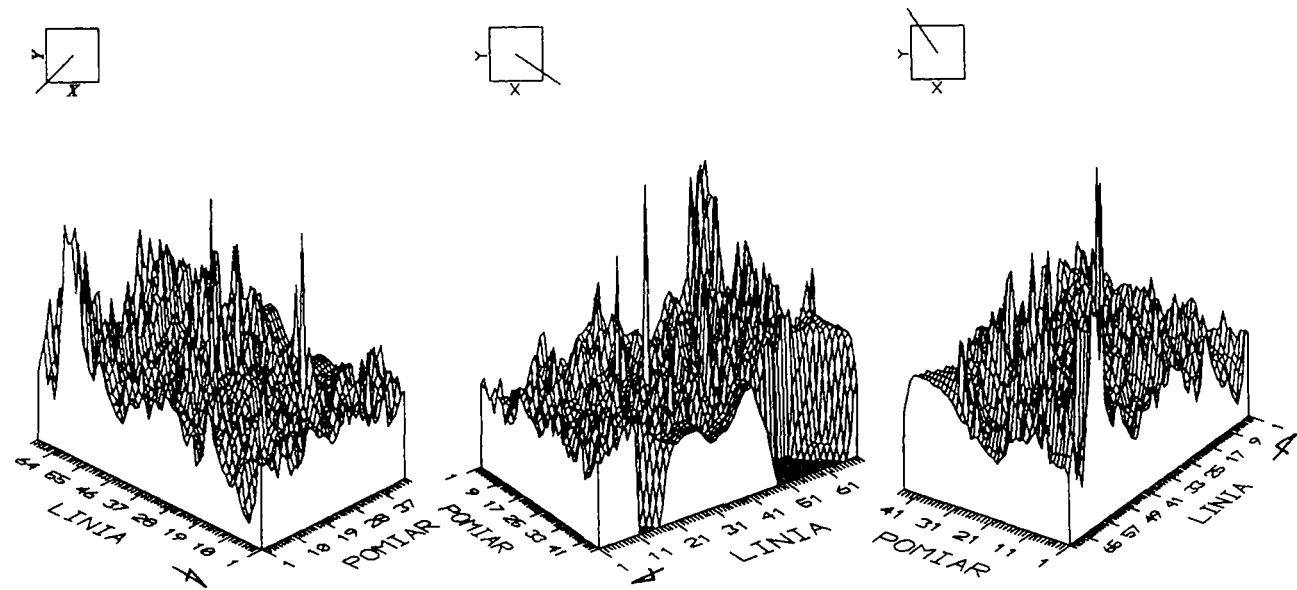
Prospekcję elektrooporową, wyniki której staramy się tutaj zaprezentować, przeprowadzono na wolnym od zadrzewienia obszarze wyspy Ostrów Lednicki (gród — Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 1 i podgrodzie — Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2) i na terenie tzw. Małego Skansenu (Dziekanowice, stanowisko 22). W latach 1984–1992 gdy przedmiotem badań były przede wszystkim w/w stanowiska przeprowadzono także pomiary (o różnym charakterze i zakresie) w Lubiniu, Gieczu, Imielnie, Sławsku⁷, Poznaniu. Jednak te badania nie są tematem niniejszego opracowania.

Przed rozpoczęciem właściwych badań, w oparciu o stałe repery państwowe rozmieszczone na wyspie (J. Górecki, J. Wrześniński 1989), wytyczono siatkę pomiarową umożliwiającą otrzymanie wyników w kwadratach 1 m × 1 m. Prowadzone pomiary sondażowe na grodzie przyniosły tak nieregularny rozkład anomalii wartości oporu, że zaniechano bardziej szczegółowych badań. Takie wyniki spowodowane są stosunkowo dużym stopniem przebadania gruntu — zwłaszcza w partii środkowej, oraz wokół obu

⁷ Badania prowadzone pod kierunkiem dra Włodzimierza Rączkowskiego z IP UAM w Poznaniu. Wyniki prospekcji elektrooporowej są tematem osobnego opracowania (J. Bator i in. w druku).



Ryc. 10. Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2. Wykres izooporowy obszaru II (por. ryc. 7)
(oznaczenia jak na ryc. 9)

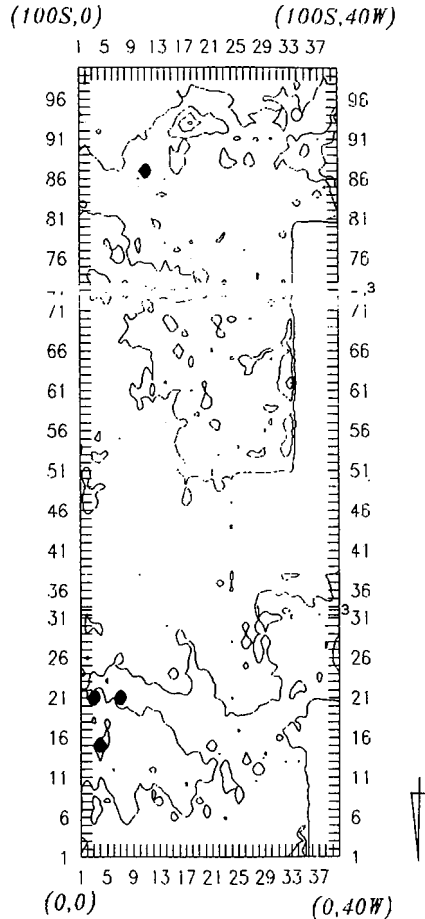


Ryc. 10a. Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2. Wykres pseudotrójwymiarowy obszaru II (por. ryc. 7) (oznaczenia jak na ryc. 9a)

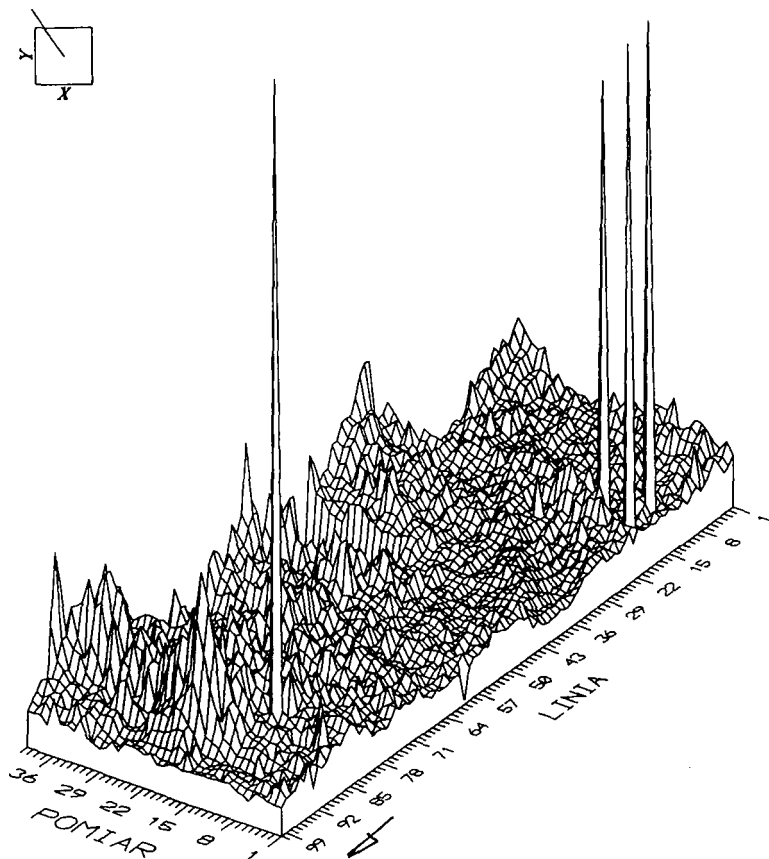
budowli kamiennych (patrz np. F. Wokroj 1953; J. Górecki i in. 1994). Dlatego też na grodzie badania ograniczyły się jedynie do prób z zastosowaniem, po raz pierwszy w tego typu badaniach, elektrod przykładowych. Ich przydatność sprawdzano w lednickim palatium. Wobec powyższego systematycznymi badaniami objęte zostało podgrodzie (ryc. 7), gdzie w sumie wykonano ok. 20 000 pomiarów, a w mniejszym zakresie („sondażowo”) także Mały Skansen (ryc. 8; 8a). Z dokonanych obserwacji lednickiego podgrodzia wynika, iż średni opór terenu objętego badaniami kształtuje się w granicach 100 do 150 Ω m. Można jednak wyróżnić obszary, gdzie jest mniejszy lub większy, a maksymalnie dochodzi do 1800 Ω m. Ich dobre rozróżnienie umożliwia różnica wartości dużo większa od niepewności pomiarowej wynoszącej ok. 10%.

Największy wyróżniony na podgrodziu obszar to pas o podwyższonym oporze (od 300 – 400 Ω m i powyżej tej wartości) biegnący z północy na południe w odległości ok. 25 m na wschód od reperu (ryc. 7). Pas ten długości ok. 130 m osiąga szerokość od 10 m (w części półn.) do ok. 20 m (w części połd. — gdzie styka się z wałem grodu). W pasie tym wyróżnić można kilka mniejszych obszarów o jeszcze wyższym oporze (w granicach 500 – 700 Ω m). Kształt ich jest w przybliżeniu owalny, a średnica waha się od 3 do 8 m (ryc. 9; 9 a; 12; 12 a; 13; 13 a).

Dotychczasowe badania archeologiczne objęły niewielkie fragmenty podgrodzia. Na jego wschodnim brzegu (w latach 1970 – 1975 i 1980 – 1981) prowadzono prace celem zlokalizowania przyczółka mostu gnieźnieńskiego. A po dokładnym wytyczeniu przebiegu mostu badania podjęto ponownie (lata 1989 – 1992) (ryc. 7) (M. Łastowiecki 1993). Podczas tych badań obserwowano zmiany linii brzegowej,

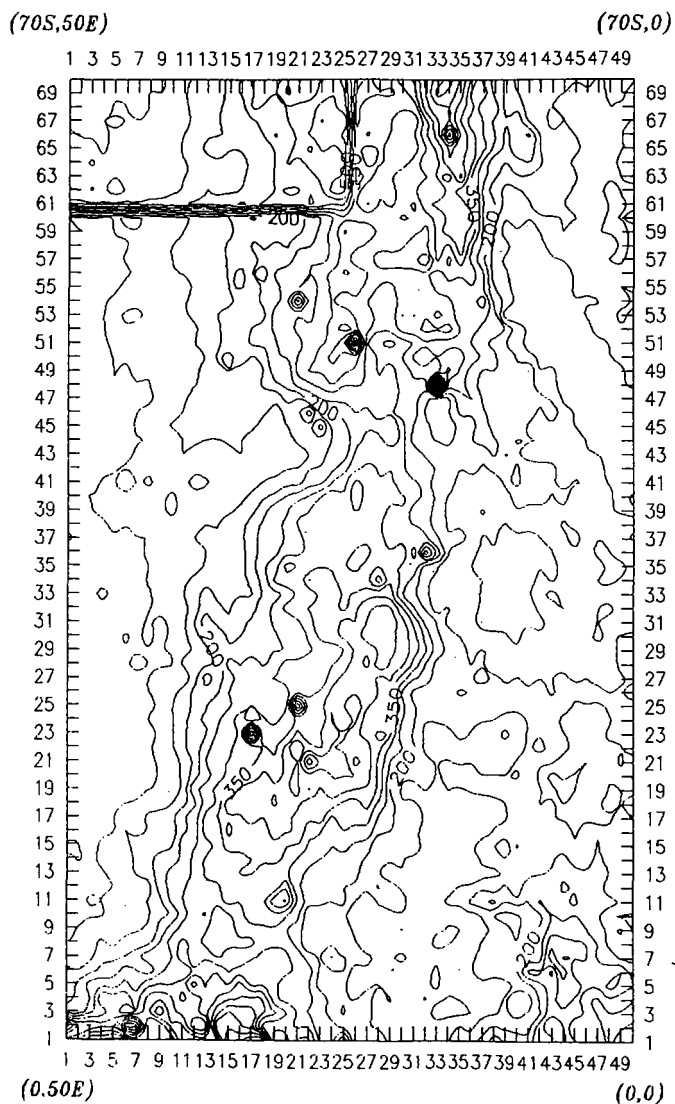


Ryc. 11. Rytbitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2. Wykres izooporowy obszaru III (por. ryc. 7) (oznaczenia jak na ryc. 9)

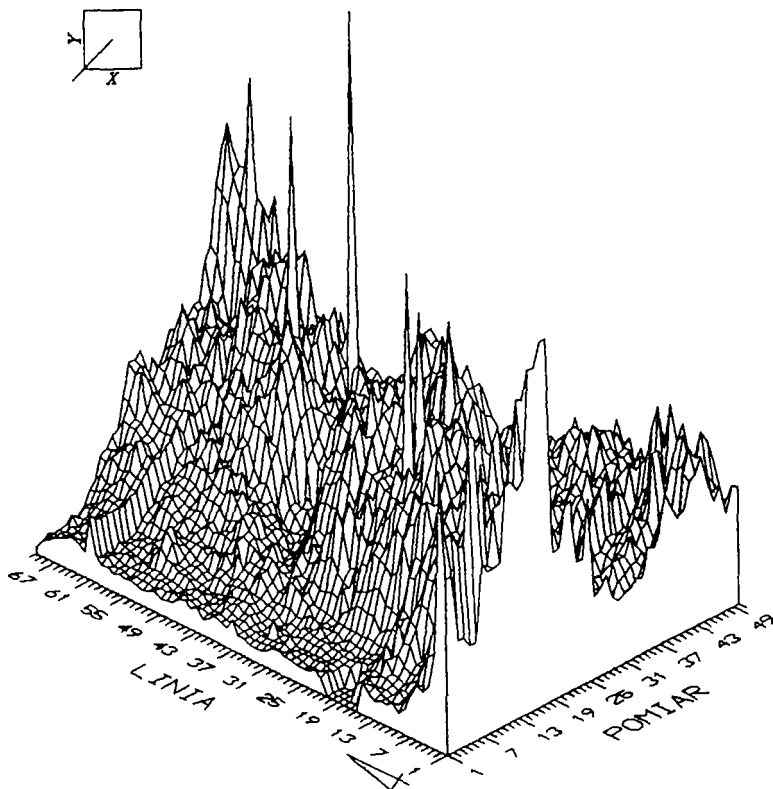


Ryc. 11a. Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2. Wykres pseudotrójwymiarowy obszaru III (por. ryc. 7) (oznaczenia jak na ryc. 9a)

a przede wszystkim odkryto obiekty o glinianych klepiskach z kamiennymi i glinianymi paleniskami (J. Leśny 1976; J. Górecki i in. 1994). Wyróżnione obszary o podwyższonym oporze mogą wskazywać obiekty o podobnym charakterze. Natomiast pas podwyższonego oporu to prawdopodobnie odślaniany we wspomnianych wykopach bruk kamienny leżący na pierwotnym brzegu wyspy (J. Górecki i in. 1993, s. 32). W części położonej na pń. od reperu oraz pń.-zach., a także tuż przy reperze od strony wsch. zarejestrowano niewielkie obszary podwyższonego oporu (o wartościach ok. 300–400 Ω m). Dwa z nich o kształcie zbliżonym do prostokąta są starymi,



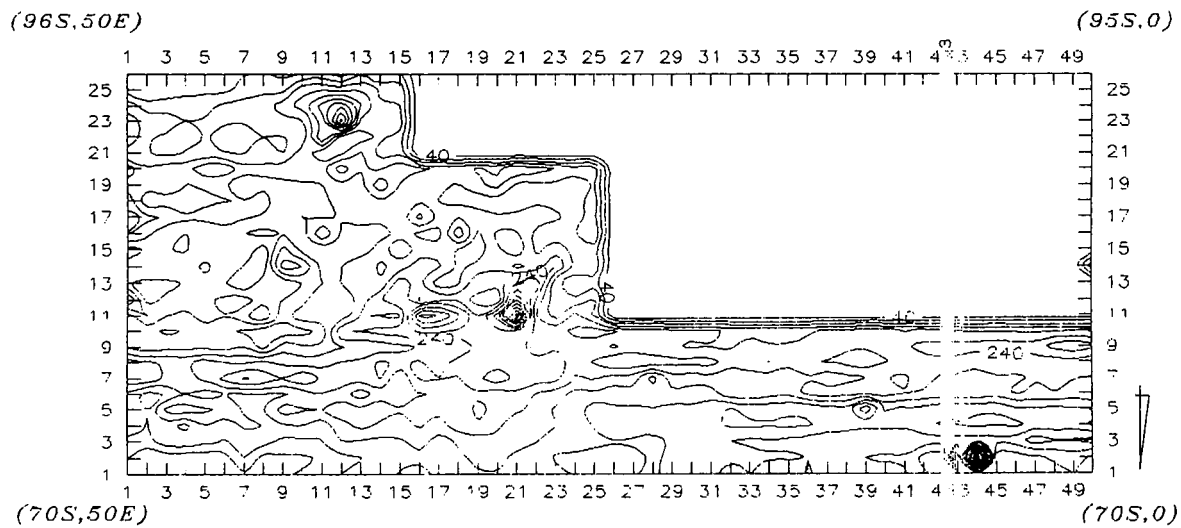
Ryc. 12. Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2. Wykres izooporowy obszaru IV (por. ryc. 7)
(oznaczenia jak na ryc. 9)



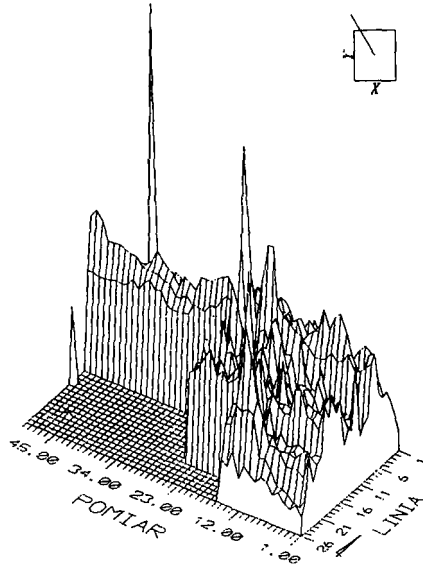
Ryc. 12a. Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2. Wykres pseudotrójwymiarowy obszaru IV (por. ryc. 7) (oznaczenia jak na ryc. 9a)

zasypianymi wykopami. Pozostałe o kształtach mniej więcej owalnych mogą wskazywać obiekty archeologiczne niewiadomego (jak dotąd) pochodzenia (ryc. 9; 9 a; 10; 10 a).

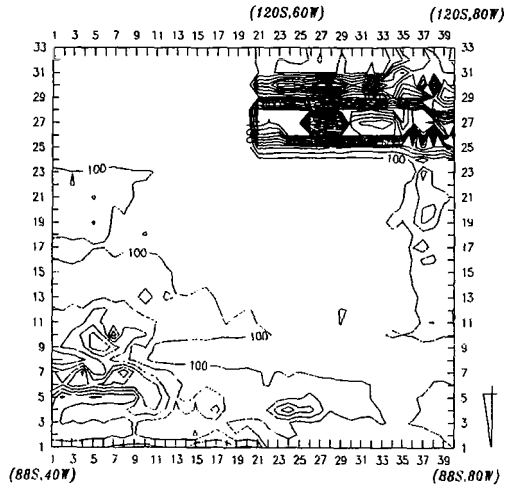
Obszary o niższym, niż otoczenie, oporze (poniżej $100 \Omega m$) występują we wsch. partii wyspy, oraz na pód. od reperu (ryc. 7). Pierwszy z wymienionych obszarów jest mniej regularny, drugi — pas o szerokości ok. 6 m — jest bardzo regularny i ma przebieg z pón.-zach. na pód.-wsch. Zaobserwowane tutaj obniżenie oporu wskazuje na duże zawilgocenie i obszary te można interpretować jako część pierwotnej zatoki (partia wschodnia) i rów przedzielający podgrodzie (pas na pód. od reperu) (ryc. 7; 11; 11 a; 12; 12 a).



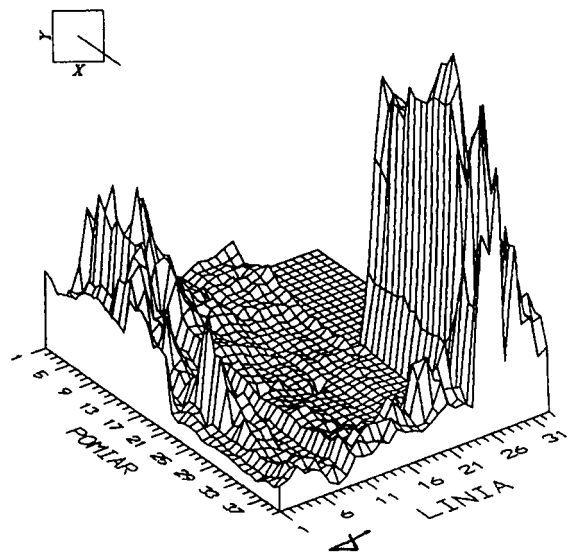
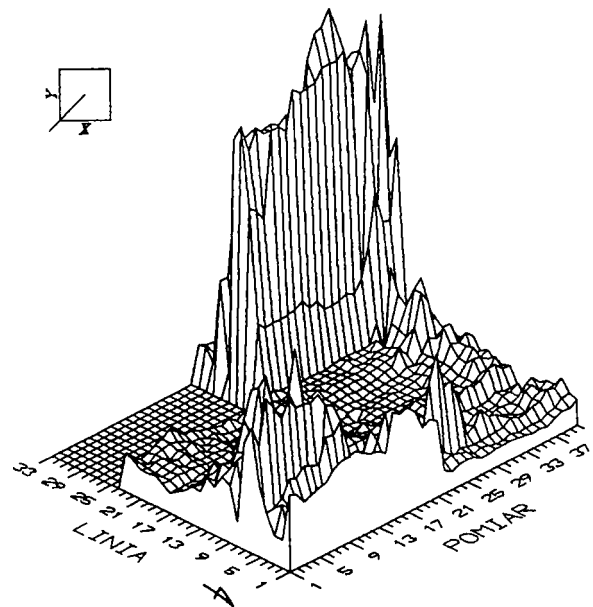
Ryc. 13. Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2. Wykres izooporowy obszaru V (por. ryc. 7) (oznaczenia jak na ryc. 9)



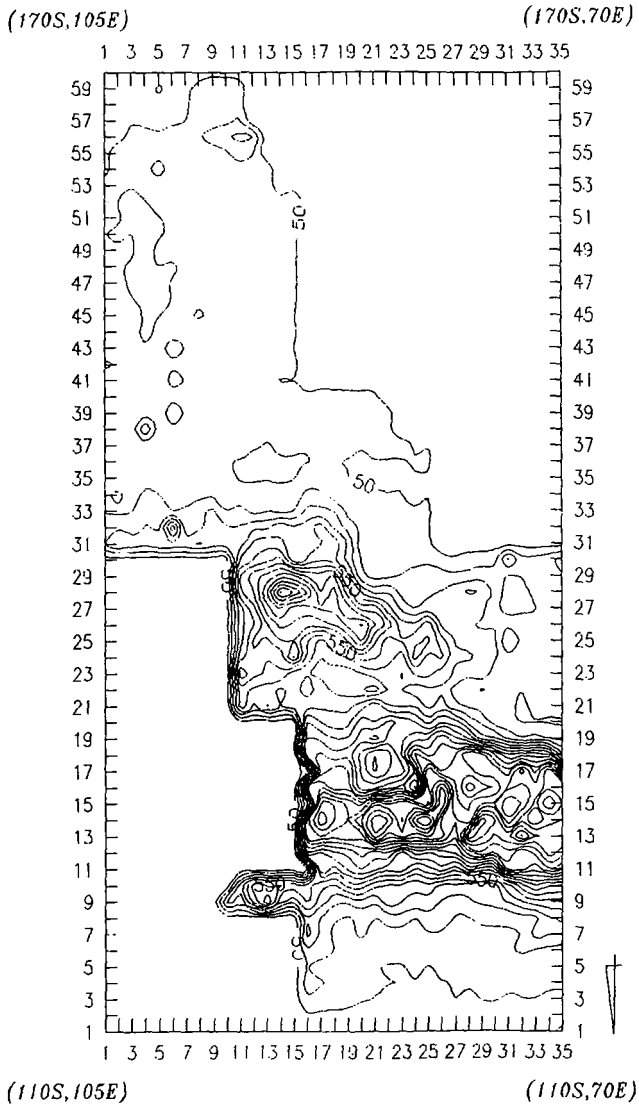
Ryc. 13a. Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2. Wykres pseudotrójwymiarowy obszaru V (por. ryc. 7) (oznaczenia jak na ryc. 9a)



Ryc. 14. Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2. Wykres izooporowy obszaru VI (por. ryc. 7) (oznaczenia jak na ryc. 9)



Ryc. 14a. Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2. Wykres pseudotrójwymiarowy obszaru VI (por. ryc. 7) (oznaczenia jak na ryc. 9a)



Ryc. 15. Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2. Wykres izooporowy obszaru VII (por. ryc. 7) (oznaczenia jak na ryc. 9)

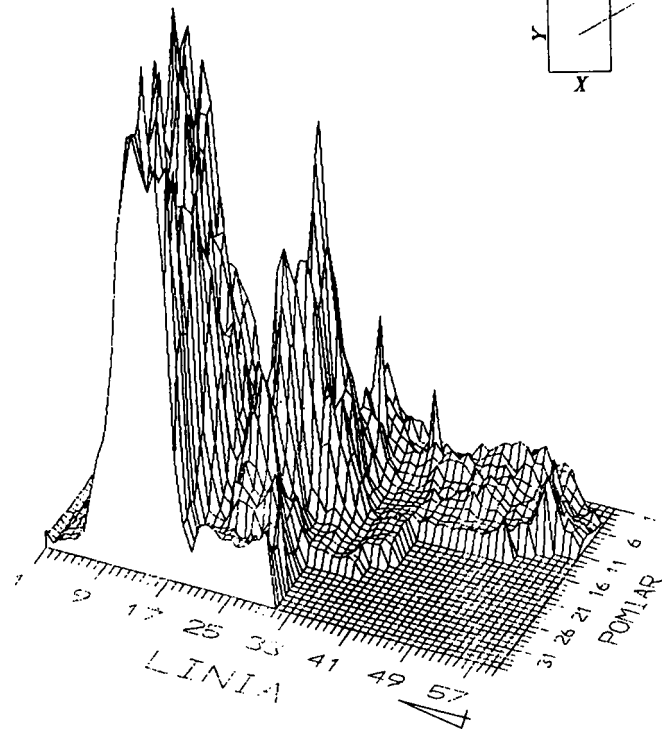
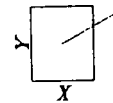
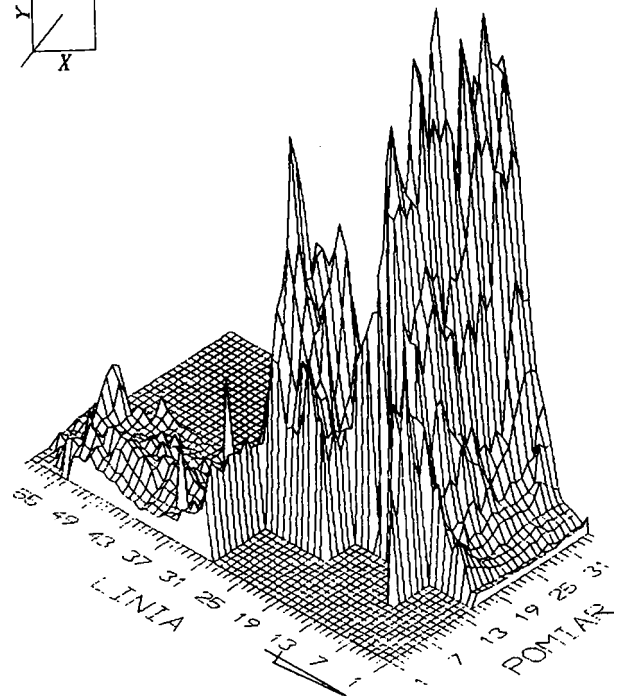
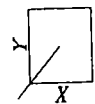
Niezwykle ciekawie przedstawia się rejon o podwyższonych wartościach oporu zarejestrowany w płd.-zach. partii podgrodzia (u podnóża bramy płn.). Wyróżnić tutaj można trzy obszary o różnych kształtach (ryc. 7; 14; 14 a). Pierwszy, nieregularny o stopniowo obniżającym się oporze (z płn. na płd. od 800 Ω m) zajmuje najbardziej wsch. część tej partii. Drugi wyróżnia się niezwykle wysokimi wartościami oporu (do ok. 1400 Ω m) i bardzo regularnym kształtem przypominającym prostokąt o wymiarach ok. 10 × 20 m. Interpretacja tego obszaru sprawia obecnie bodajże największą trudność. W tym miejscu występuje, czytelne do dziś, naturalne obniżenie terenu. W wykonanych tutaj kilku odwiertach wystąpiła piaszczysta ziemia, spalenizna, popiół i przepalony kamień. Być może pierwotne obniżenie (fosa ?) w pewnym momencie zostało zasypane ? Należy jeszcze dodać, iż przy samym wale (podobnie jak w rejonie płd.-wsch. ryc. 7) zarejestrowano najmniejsze wartości oporu na Lednicy wynoszące kilkanaście Ω m. Badania modelowe wykazały, iż takie wartości wskazują na dużą wilgotność gleby, lub na obecność gliny bądź popiołu. Można więc przypuszczać, że niskie wartości oporu są spowodowane występowaniem, u podnóża wału, gliny (np. z osuniętego lica wału) bądź spalenizny (np. ze spalonych konstrukcji wału). Ale też wskazywać mogą na istnienie obniżenia — fosy oddzielającej gród od podgrodzia. Problem fosy nie został dotąd jednoznacznie rozstrzygnięty. W założonym u podnóża wału wykopie (w 1960 roku badania prowadziła w tym rejonie G. Mikołajczyk) nie uzyskano wystarczających dowodów na jej istnienie (G. Mikołajczykówna 1961, s. 376). Wstępne badania geologiczne ujawniają występowanie tutaj naturalnego obniżenia.

Zlokalizowany w pobliżu wału wąski pas podwyższonego oporu (ok. 300 – 400 Ω m) o szerokości ok. 2 – 3 m może wskazywać wykop założony w latach 50-tych celem sprawdzenia domniemanej fosy (ryc. 7).

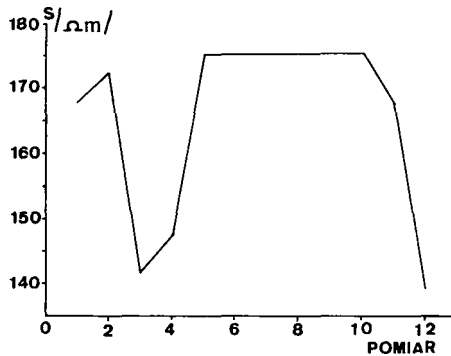
Natomiast wąski bardzo regularny pas (szerokości ok. 2m) (ryc. 7) to niewątpliwie współczesny wkop pod kabel elektryczny.

Kolejnym terenem objętym prospekcją elektrooporową jest niewielkie wyniesienie w płd.-wsch. partii podgrodzia — u podnóża wsch. części lednickich umocnień obronnych (ryc. 7). Na tym obszarze można wyróżnić kilka wyraźnych pasm o zróżnicowanym oporze. Na najbardziej płn. krańcu tego obszaru zarejestrowano wzrost oporu do wartości ok. 300 – 500 Ω m. Partia płd. tego obszaru o wartościach oporu w granicach 600 – 800 Ω m „przecięta” jest pasem o oporze od 1000 do 1800 Ω m. Są to najwyższe wartości, jakie zarejestrowano na Ostrowie Lednickim. Tak wysokie opory można łączyć jedynie z występowaniem kamieni lub gruzu (ryc. 15; 15 a). Od tego obszaru o prostokątnym kształcie następuje stopniowe obniżanie się wartości oporu.

W 1991 r. prospekcję elektrooporową przeprowadzono także na terenie tzw. Małego Skansenu — Dziekanowice, stanowisko 22. Pomiarów dokonano na wyniesieniu brzegowym w pobliżu zakładanych właśnie wykopów (ryc. 8; 8 a) w związku z badaniami cmentarzyska wczesnośredniowiecznego (A. J. Wrzesiński 1992; 1993). Wartości oporu w tej partii (z wyjątkiem jednego punktu) nie przekraczają 200 Ω m. Na uwagę zasługuje obszar zarejestrowany przy płd. granicy wykopu V/91. Dwa wyróżnione miejsca — przy płd.-wsch. i płd.-zach. narożniku wykopu w wyniku prac wykopaliskowych zidentyfikowano jako obiekty (uchwycone fragmentarycznie) mieszkalne wkopane w gliniasty całec. Tuż przy tym wykopie zarysowały się bardzo wyraźnie



Ryc. 15a. Rybitwy — Ostrów Lednicki, stanowisko 2. Wykres pseudotrójwymiarowy obszaru VII (por. ryc. 7) (oznaczenia jak na ryc. 9a)



Dn.	Godz.	Warunki atmosferyczne	Wartość oporu (Ωm)	Zmiana oporu (%)
1	7.00	Pochmurnie, duża wilgotność	168,0	4,3
	14.00	Pochmurnie, sucho	172,4	1,8
2	7.00	Po kilkunastogodzinnym deszczu	141,8	19,2
	14.00		147,5	16,0
3	14.00	Sucho, wysoka temperatura	175,5	0,06
4	14.00	j.w.	175,3	0,17
5	14.00	j.w.		0,06
6	15.00	j.w.		0
7	14.00	j.w.		0,06
8	16.00	j.w.		0
9	18.00	1,5 godz. deszcz, chłodno	167,8	4,4
10	14.00	Noc bardzo zimna, mgła	139,7	20,4

Ryc. 16. Zmiany wartości oporu w zależności od warunków atmosferycznych (wg H. Janus-Zebrowskiej 1992)

dwa wąskie pasy (szerokości 1m) związane ze współczesnymi wkopami (wodociąg i kabel elektryczny).

Na terenie między wykopami VI/91 i II/91 zaobserwowano obszar o podwyższonym oporze o kształcie zbliżonym do prostokąta o wymiarach 4×10 m. Z całą pewnością obszar ten łączyć można z osadnictwem wczesnośredniowiecznym — obiekty kulturowe wkopane (na tym terenie) w stosunkowo płytko zalegający gliniasto-piaszczysty całec. Na omawianym stanowisku wyróżniono jeszcze dwa obszary podwyższonego oporu. Jeden o oporze nieznacznie podwyższonym zlokalizowany jest w zach. partii badanego obszaru, drugi o bardzo wysokich wartościach — w części wsch.

Podsumowując badania przeprowadzone metodą elektrooporową na Ostrowie Lednickim i Dziekanowicach 22 należy powiedzieć, iż otrzymywane wyniki zależą od bardzo wielu czynników. Jednym z nich jest aparatura — jej skompletowanie i zgranie zależy od warunków terenowych i przygotowania ekipy badawczej. Same pomiary (pomijając czynnik ludzki) również zależą od warunków terenowych — np. od stopnia nawilgocenia danego terenu. Dokonywane próby pomiarów w różnych warunkach atmosferycznych wykazały duże różnice wyników w zależności od stopnia wilgotności gleby i powietrza (opady krótko i długotrwałe, mgła itp) (ryc. 16). Podczas prowadzonych przez nas prac potwierdziła się zasada (podnoszona w dotychczasowej literaturze) wzajemnych relacji otrzymywanych wyników. Ich analiza odbywa się na drodze porównywania większych i mniejszych wartości, a nie wartości bezwzględnych oporu. Wartości oporów są charakterystyczne dla danego stanowiska i w zasadzie trudno porównywalne z innymi badanymi stanowiskami. Interpretacja wyników nie jest sprawą łatwą. Nie zawsze jest jednoznaczna. Zależy także m. in. od rozpoznania archeologicznego terenu i współpracy z archeologami podczas prac terenowych, a przede wszystkim przy analizie i interpretacji wyników. Trzeba tu podkreślić, iż prospekcja metodą elektrooporową stanowisk wielowarstwowych (jak np. Ostrów Lednicki) nie należy do łatwych. Badania i analiza tego typu stanowisk z punktu widzenia metodologii archeologii należą do najtrudniejszych (P. Urbańczyk 1986, s. 184 – 245; S. Tabaczyński 1987, s. 82 – 89). Duża miąższość różnorodnych nawarstwień, wynikająca z użytkowania tego samego terenu przez wiele lat, oraz zmiany charakteru stanowiska oczywiście nie zostaną odczytane w wyniku badań elektrooporowych. Nie możemy oczekiwać, iż dzięki opisanej metodzie uzyskamy odpowiedź na pytanie o funkcję danej struktury podziemnej. A na pewno nie uzyskamy danych o chronologii i następstwie w czasie zlokalizowanych struktur.

Uzyskane wyniki wskazują na występowanie (lub brak) podziemnych „objektów” — i dostarczają danych na temat ich lokalizacji, kształtu, głębokości. Nie zawsze rozpoznamy charakter ich wypełnienia. Metoda elektrooporowej prospekcji najbardziej czytelna i pomocna jest przy poszukiwaniach związanych z architekturą, „pustymi komorami”, oraz na stanowiskach, gdzie obiekty zostały wkopane bezpośrednio w całość, a szczególnie tam, gdzie zalega on płytko i warstwa kulturowa nie osiągnęła dużej miąższości.

LITERATURA

- Aitken M., J. 1974, *Physics and archeology*, Oxford.
- Atkinson R., C., J. 1952, *Methodes electriques de prospection en archéologie. Le découverte du passé*. Paris.
- Bator J., Kiszkowski P., Sadlik E. (w druku), *Badania metodą elektrooporową kościoła parafialnego pod wezwaniem św. św. Piotra i Pawła w Sławsku, woj. śląskie, MZP*.
- Bukowski Z. 1969, *O zastosowaniu metod geofizycznych w archeologii*, AP 14, s. 444 – 454.
- Dąbrowski K., Stopiński W. 1961, *Zastowanie metody elektrooporowej w badaniach archeologicznych*, KHKM 9/10, s. 75 – 87.
- Dźwina J. 1978, *Geofizyka. Metody geoelektryczne*. Warszawa.
- Górecki J., Łastowiecki M., Wrzesiński J. 1993, *Nowe wyniki badań archeologicznych na Ostrowie Lednickim (1983 – 1990)*, [w:] *Przeszłość regionu Ostrowa Lednickiego i jego perspektywy* (red.) Z. Kurnatowska, *Prace Komisji Archeologicznej PTPN* t. 13, s. 27 – 34, Poznań.

- Górecki J., Łastowiecki M., Wrześciński J. 1994, Budownictwo drewniane Ostrowa Lednickiego, SL 3, s. 21–45, Lednica — Poznań.
- Górecki J., Wrześciński J. 1989, Problemy siatki arowej na przykładzie Ostrowa Lednickiego, SL 1, s. 71–76, Lednica — Poznań.
- Herbich T. 1993, The method of estimation of the extent of the mining field of flint mines through observation of the arrangement of surface layers, AP 38, s. 23–35.
- 1994, Zastosowanie metody elektrooporowej do szacunkowego określenia głębokości jam zasobowych na stanowiskach lessowych, SpAr 46, s. 185–188.
- Herbich T., Misiewicz K. 1990, Zastosowanie analizy komputerowej do opracowania danych z badań archeologiczno — geofizycznych na przykładzie prospekcji na stanowisku Slonowice, woj. kieleckie, AP 35, s. 25–35.
- Janus-Zębrowska H. 1992, Zastosowanie metody elektrooporowej w archeologii. Badanie Ostrowa Lednickiego koło Gniezna układem potencjałowym, Poznań (maszynopis pracy magisterskiej).
- Lemberger M. 1969, O metodyce badań geofizycznych w archeologii, AP 14, s. 281–293.
- Lenkiewicz T., Stopiński W. 1969, Zastosowanie metody elektrooporowej do badań archeologicznych na obszarze miast, Materiały Archeologiczne 10, s. 5–24.
- Leśny J. 1974, W sprawie kultu pogańskiego na Ostrowie Lednickim we wczesnym średniowieczu, SIA 21, s. 119–135.
- Łastowiecki M. 1993, Sprawozdanie z badań wykopaliskowych przyczółka wczesnośredniowiecznego mostu wschodniego (tzw. gnieźnieńskiego) na Ostrowie Lednickim, gm. Łubowo, woj. poznańskie, stan. 2, WSA 2, s. 133–155.
- Mikołajczykówna G., 1961, Sprawozdanie z działalności Muzeum Archeologicznego w Poznaniu, Oddział w Gnieźnie w 1960 roku, FAP 12, s. 376–379.
- Misiewicz K. 1984, Interpretacja wyników prospekcji geofizycznej na stanowisku Sycyna w woj. radomskim, SpAr 36, s. 273–284.
- Tabaczyński S. 1987, Archeologia średniowieczna. Problemy. Źródła. Metody. Cele badawcze. Ossolineum.
- Tański T. 1991, Surfer. Warszawa.
- Urbańczyk P. 1986, Formowanie się układów stratyfikacyjnych jako proces źródłotwórczy, [w:] Teoria i praktyka badań archeologicznych. Przesłanki metodologiczne, t. 1, s. 184–245. Ossolineum.
- Wokroj F. 1953, Wczesnośredniowieczne czaszki polskie z Ostrowa Lednickiego. Crania Polonica. MiPAN I. Wrocław.
- Wrześciński A., J. 1992, Sprawozdanie z badań na wczesnośredniowiecznym cmentarzysku szkieletowym w Dziekanowicach, stan. 22, gm. Łubowo, woj. poznańskie, WSA 1, s. 103–112.
- 1993, Wczesnośredniowieczne cmentarzysko szkieletowe w Dziekanowicach, gm. Łubowo — drugi sezon badań, WSA 2, s. 157–184.
- Yan P. 1993, Teoria oporu, czy opór teorii. Świat nauki 2 (18), s. 11–13. P.

ELEKTROWIDERSTANDSPROSPEKTION VON OSTRÓW LEDNICKI

Zusammenfassung

Eine der Disziplinen, mit den die Archäologen in Ostrów Lednicki zusammenarbeiten, ist Physik. Während der auf der Insel durchgeführten Arbeiten wurde auch die Elektrowiderstandsmethode verwendet. Diese Methode lehnt sich an das Prinzip des Stromflusses zwischen den in den Boden eingeschlagenen und mit der Stromquelle verbundenen Elektroden. Die Anwesenheit archäologischer Objekte (Stein- und Ziegelfundamente, Gruben, Gräben, Vertiefungen, die mit anderen Materialien ausgefüllt sind, als die Umgebung, leere Grabkammern, Keller usw.) hat die Änderungen der gemessenen Widerstandes während des Stromdurchgangs in der Erde zur Folge.

Aufgrund der Elektrowiderstandsprospektion und bisheriger archäologischer Untersuchungen von Ostrów Lednicki wurden folgende Gebiete abgesondert:

1. Ein vom Norden nach Süden verlaufendes Gebiet mit ca. 130 m Länge und von 10–20 m Breite im

östlichen Suburbiumteil. In diesem Streifen wurden kleinere (mit unterschiedlichen Widerstandswerten) Gebiete mit 3 – 8 m Durchmesser (Abb. 9, 9a, 12, 12a, 13, 13a) festgestellt, die mit Wohnobjekten mit Lehm-Steinfußböden und Lehmherdstellen identifiziert werden können. Das große abgesonderte Gebiet kann dagegen mit dem Steinpflaster am ursprünglichen Inselrand verbunden sein.

2. Kleine Gebiete im nördlichen und nordwestlichen Suburbiumteil (Abb. 9, 9a, 10, 10a) können auf archäologische Objekte mit bisher noch unbekannter Funktion hinweisen.

3. Ein im östlichen Teil registriertes Gebiet und ein Streifen im zentralen Suburbiumteil, ca. 6 m breit, angeordnet vom Nordwesten nach Südosten, kann als ein Teil der ursprünglichen Bucht (östlicher Teil) und ein Graben, der das Suburbium teilte (Streifen im Mittelteil) (Abb. 11, 11a, 12, 12a) interpretiert werden.

4. Am Fuße des Nordtors (im südwestlichen Suburbiumteil) wurde ein Gebiet (Abb. 14, 14a) registriert, das als eine natürliche Geländevertiefung die Rolle eines Grabens spielen konnte. Es ist nicht ausgeschlossen, daß der „Graben“ verschüttet wurde.

5. In einer kleinen Erhöhung im südöstlichen Suburbiumteil wurden einige deutliche Streifen mit unterschiedlichem Widerstand erfaßt (Abb. 15, 15a). Die dort registrierten Werte sind am höchsten und können mit Bauschutt oder Steinen verbunden werden.

Die während der Elektrowiderstandsversuchen in Ostrów Lednicki erhaltenen Ergebnisse weisen auf das Auftreten (oder Mangel) unterirdischer „Objekte“ hin und liefern Angaben zu ihrer Lage, Form, Tiefe. Die Methode der Elektrowiderstandsprospektion ist bei den mit Architektur verbundenen Forschungen und in solchen Fundstellen am deutlichsten und behilflich, wo die Objekte direkt in den Boden Untergrund eingegraben wurden, insbesondere dort, wo die Kulturschicht keine hohe Mächtigkeit erhalten hat.

ABBILDUNGEN

Abb. 1. Wasserströmungstörungen (gez. Marian Łomnicki)

Abb. 2. Meßset. A — Meßgeräte; B — Elektroden; C — Verbindungsrahmen (nach H. Janus-Zębrowska 1992)

Abb. 3. Die bei den Versuchen verwendeten Elektroden. A — eingeschlagene Elektrode; B — angelegte Elektrode (gez. M. Łomnicki)

Abb. 4. Potentiometersystem. 1,3 — Stromelektroden; 2,4 — Spannungselektroden; D — ständiger Elektrodenabstand; 0 — Meßbezugspunkt (gez. M. Łomnicki)

Abb. 5. Isowiderstandsdiagramm

Abb. 6. Pseudodreidimensionales Diagramm

Abb. 7. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 1. Legende: a — die mit Elektrowiderstandsprospektion umfaßten Gebiete; b — Gebiete mit Widerstandsanomalien; c — archäologische Grabungsflächen; 00 — Staatsfixpunkt (gez. M. Łomnicki)

Abb. 8. Dziekanowice, Fst. 22. Legende: a — die mit Elektrowiderstandsprospektion umfaßten Gebiete; b - Gebiete mit Widerstandsanomalien; c — archäologische Grabungsflächen; 00 — Staatsfixpunkt (gez. W. Kujawa)

Abb. 8a. Dziekanowice, Fst. 22. Lage der Grabungsflächen. 1 — Holzgebäude des sog. Kleines Freilichtmuseums; 2 — Grabungsflächen aus den Jahren 1976 – 1992; 4 Grabungsflächen aus 1993

Abb. 9. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 2. Isowiderstandsdiagramm des Gebietes I (vgl. Abb. 7). 1,3,5 ... — Numerierung der Meßnetzlinien; 60N, 50E — Bezeichnung der Grenzweiten (in m) vom Punkt 0 — Staatsfixpunkt im Suburbium (nach H. Janus-Zębrowska 1992)

Abb. 9a. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 2. Pseudodreidimensionales Diagramm des Gebietes I (vgl. Abb. 7). 1,7,13 ... — Numerierung der Meßnetzlinien; X — Messung-Ost-West-Achse; Y — Linie Nord-Süd-Achse (nach H. Janus-Zębrowska 1992)

Abb. 10. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 2. Isowiderstandsdiagramm des Gebietes II (vgl. Abb. 7). (Bezeichnungen wie in Abb. 9)

Abb. 10a. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 2. Pseudodreidimensionales Diagramm des Gebietes II (vgl. Abb. 7). (Bezeichnungen wie in Abb. 9a)

Abb. 11. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 2. Isowiderstandsdiagramm des Gebietes III (vgl. Abb. 7). (Bezeichnungen wie in Abb. 9)

- Abb. 11a. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 2. Pseudodreidimensionales Diagramm des Gebietes III (vgl. Abb. 7). (Bezeichnungen wie in Abb. 9a)
- Abb. 12. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 2. Isowiderstandsdiagramm des Gebietes IV (vgl. Abb. 7). (Bezeichnungen wie in Abb. 9)
- Abb. 12a. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 2. Pseudodreidimensionales Diagramm des Gebietes IV (vgl. Abb. 7). (Bezeichnungen wie in Abb. 9a)
- Abb. 13. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 2. Isowiderstandsdiagramm des Gebietes V (vgl. Abb. 7). (Bezeichnungen wie in Abb. 9)
- Abb. 13a. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 2. Pseudodreidimensionales Diagramm des Gebietes V (vgl. Abb. 7). (Bezeichnungen wie in Abb. 9a)
- Abb. 14. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 2. Isowiderstandsdiagramm des Gebietes VI (vgl. Abb. 7). (Bezeichnungen wie in Abb. 9)
- Abb. 14a. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 2. Pseudodreidimensionales Diagramm des Gebietes VI (vgl. Abb. 7). (Bezeichnungen wie in Abb. 9a)
- Abb. 15. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 2. Isowiderstandsdiagramm des Gebietes VII (vgl. Abb. 7). (Bezeichnungen wie in Abb. 9)
- Abb. 15a. Rybitwy — Ostrów Lednicki, Fst. 2. Pseudodreidimensionales Diagramm des Gebietes VII (vgl. Abb. 7). (Bezeichnungen wie in Abb. 9a)
- Abb. 16. Widerstandwertänderungen je nach den atmosphärischen Bedingungen (nach H. Janus-Zebrowska 1992)