

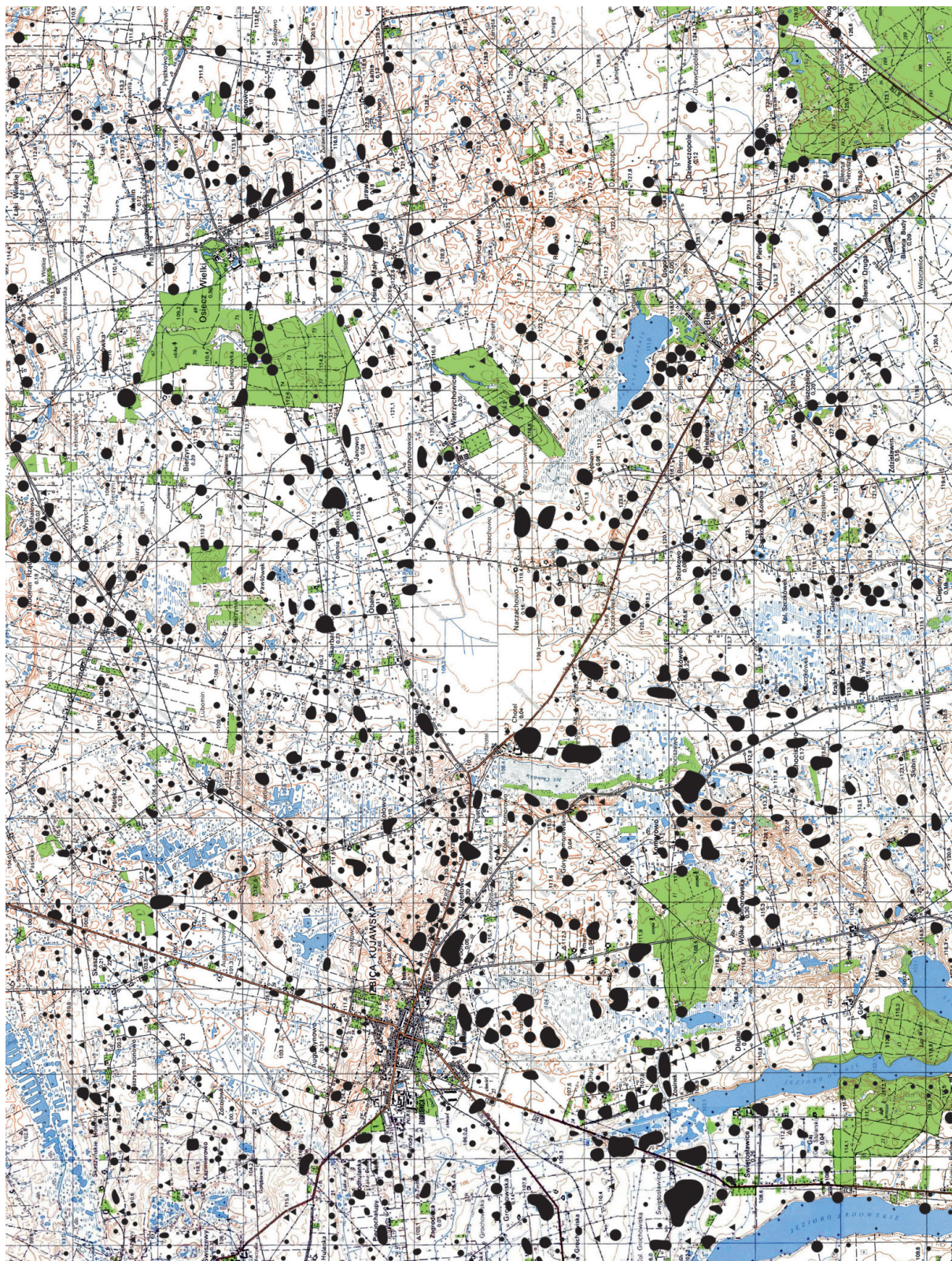
METODY BADAŃ NIEINWAZYJNYCH

W czasie prac archeologicznych wykonanych w rejonie Parku Kulturowego Wietrzychowice zastosowano pięć różnorodnych metod badań prospekcji nieinwazyjnych – są to: weryfikacyjne badania powierzchniowe, szczegółowa inwentaryzacja źródeł archeologicznych na powierzchni stanowisk, prospekcja lotnicza, prospekcja geofizyczna oraz prospekcja geochemiczna.

Weryfikacyjne badania powierzchniowe

Archeologiczne badania powierzchniowe rozpoczęto w 2009 r. penetracjami w tzw. otulinie Parku Kulturowego Wietrzychowice, które następnie rozszerzono na obszar przylegający do jeziora Karaśnia. Przez trzy kolejne sezony wiosennych poszukiwań zlokalizowano niemal 40 wcześniej nieznanymi stanowisk archeologicznych, w tym 17 KPL. Taki przyrost źródeł na stosunkowo niewielkim terenie potraktowano jako sygnał wskazujący na małą wartość poznawczą wyników prac przeprowadzonych w ramach Archeologicznego Zdjęcia Polski (dalej AZP), w latach 80-tych XX wieku. Na ich nikłą przydatność do badań nad osadnictwem epoki kamienia wskazywała również znikoma ilość stanowisk KPL w otoczeniu cmentarzysk megalitycznych w Leśniczówce, Gaju, Lubominie, Obalkach i Wietrzychowicach. Powyższe przesłanki skłoniły do opracowania nowego, kompleksowego programu prac weryfikacyjnych, którego podstawowym celem było rozpoznanie sieci osadniczej w szeroko pojmowanym rejonie Parku Kulturowego Wietrzychowice. Ostatecznie, weryfikacyjnymi badaniami powierzchniowymi objęto 4 obszary AZP (o numerach: 52–45, 52–46, 53–45, 53–46) o łącznej powierzchni ok. 160 km² (ryc. 1). Systematyczne prace terenowe przeprowadzono w latach 2013–2018 w ramach trzech edycji zadania „Źródła archeologiczne w rejonie Parku Kulturowego Wietrzychowice”, realizowanego w ramach programu Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego pt. „Dziedzictwo Kulturowe”, priorytet „Ochrona zabytków archeologicznych”.

Ogółem, w czasie prac terenowych materiały zabytkowe o chronologii od późnego paleolitu do średniowiecza zarejestrowano na niemal 1,4 tys. stanowisk archeologicznych, w tym ponad 1 tys. nowo odkrytych (ryc. 2). Dla powyższych wyników kluczowe znaczenie miało założenie, o konieczności dwukrotnej penetracji całego badanego obszaru oraz zasady wyboru optymalnych terminów dla przeprowadzenia prac terenowych. Dwukrotne przejście każdego badanego obszaru jest niezbędne dla wyeliminowania różnego typu utrudnień związanych np. ze zmiennością upraw, co szczególnie dotyczy rzepaku, który wiosną jest na tyle gęsty, że zasłania powierzchnię ziemi, uniemożliwiając obserwację. Na podstawie własnych, wieloletnich doświadczeń przyjęto, że prospekcje będą wykonywane na przełomie zimy i wiosny, czyli tuż po ustąpieniu pokrywy śnieżnej, a jeszcze przed podjęciem przez rolników wiosennych prac polowych (ryc. 3). Tylko w tym okresie panują właściwe warunki obserwacji, tzn. większość gruntów pozbawiona jest roślinności lub jest ona bardzo niska i jeszcze „zamrożona”, a górna warstwa gleby jest dobrze „przeplukana” przez deszcze i wody roztopowe, co szczególnie ważne jest na



Ryc. 2. Rozmieszczenie stanowisk archeologicznych na obszarach AZP o nr 52-45, 53-45, 52-46, 53-46.
 Fig. 2. Distribution of archaeological sites in the area of the Archaeological Picture of Poland, numbers: 52-45, 53-45, 52-46, 53-46.



31.03.2013 r.



08.04.2013 r.



19.04.2013 r.



26.02.2014 r.



10.03.2015 r.



1.03.2016 r.

Ryc. 3. Charakterystyka warunków obserwacji na przełomie zimy i wiosny w poszczególnych latach badań powierzchniowych.

Fig. 3. Description of the conditions of observation at the end of winter and the beginning of spring in particular years of the reconnaissance survey.

obszarach cięższych gleb, wykształconych na podłożu gliniastym. Powyższe warunki są niezbędne dla odnajdywania źródeł archeologicznych o małych rozmiarach, w tym szczególnie materiałów krzemienianych. W praktyce okazało się, że okres optymalnej obserwacji, w poszczególnych latach nie przekraczał dwóch tygodni i mieścił się w przedziale od 20 lutego do 20 marca. Tylko w 2013 roku, w wyniku obfitych opadów śniegu występujących jeszcze na przełomie marca i kwietnia, prace terenowe wykonano w początkach kwietnia.

Badania terenowe przeprowadzono w następujących terminach:

- 2013 r.: 8 – 22 kwietnia
- 2014 r.: 20 lutego – 1 marca
- 2015 r.: 24 lutego – 1 marca oraz 8 – 10 marca
- 2016 r.: 2 – 10 marca
- 2017 r.: 7 – 16 marca
- 2018 r.: 6 – 15 marca

W przygotowaniu koncepcji badań powierzchniowych świadomie zrezygnowano z penetracji jesiennych. W tym czasie, w stosunku do terminów z przełomu zimy i wiosny, panują znacznie gorsze warunki obserwacji. Część pól jest jeszcze zajęta przez uprawy (głównie kukurydzy i buraka cukrowego) oraz różnego typu poplony lub jest poddana zabiegom związanym ze zbiorami i przygotowaniem gruntów do okresu zimowego. Ponadto zasiane we wrześniu oziminy są w fazie wegetacji i dość intensywnego wzrostu, co znacznie utrudnia obserwację powierzchni pól. Z naszych doświadczeń, gromadzonych przez ponad 20 lat wynika, że skuteczność wiosennych prospekcyj na terenie Kujaw jest co najmniej dwukrotnie większa niż jesiennych. Nie chodzi tu tylko o liczbę rejestrowanych stanowisk archeologicznych, ale przede wszystkim o pozyskiwane w czasie prac terenowych zbiory źródeł. W przypadku penetracji wiosennych są one zdecydowanie liczniejsze i bardziej zróżnicowane chronologicznie i surowcowo.

W czasie prac terenowych odkrywane źródła ruchome były inwentaryzowane na mapach topograficznych w skali 1:10 000. Dodatkowo, dla lepszej orientacji w sytuacji terenowej, posługiwano się dostępną ortofotomapą oraz lokalizatorami GPS. Stanowiska archeologiczne wyznaczano na bieżąco, w trakcie prowadzenia badań powierzchniowych. W określeniu granic poszczególnych stanowisk pomocna była rejestracja rozkładu przestrzennego zabytków oraz ich ocena chronologiczna, a także analiza ukształtowania terenu. Całość dokumentacji badań wykonano zgodnie z zasadami zawartymi w opracowaniu „Archeologiczne Zdjęcie Polski. Instrukcja sporządzania dokumentacji badań powierzchniowych oraz wypełniania Karty Ewidencji Zabytku Archeologicznego” Narodowego Instytutu Dziedzictwa.

Omawiany obszar w zdecydowanej większości był dostępny do obserwacji powierzchniowej. W terenie dominowały grunty orne podlegające systematycznym uprawom, głównie zbóż i roślin okopowych. Do rejonów o utrudnionej obserwacji należy zaliczyć przede wszystkim lasy, które stanowiły ok. 7% powierzchni badanego obszaru. Wszystkie tereny zalesione zostały sprawdzone, szczególnie pod kątem występowania zrębów i upraw leśnych, w obrębie których zinwentaryzowano w sumie 17 stanowisk archeologicznych. Drugim elementem utrudniającym obserwacje archeologiczne jest zabudowa, którą, poza obszarem Izbicy Kujawskiej, można określić jako mało zwartą. Tym niemniej, w przypadku kilku rejonów położonych w większych wsiach, o ściślejszej zabudowie (np. Błenna, Lubomin) oraz przy obecności dodatkowych elementów (np. zespoły podworskie, szkoły, niewielkie zakłady przemysłowe), można wskazać obszary o niewielkich powierzchniach, gdzie obserwacja archeologiczna była wyraźnie utrudniona lub niemożliwa. W sumie, należy uznać, że powyższe ograniczenia dotyczyły nieco ponad 10% badanej powierzchni, zatem nie powinny mieć istotnego znaczenia dla uzyskanych wyników prospekcyj powierzchniowych.

W wyniku badań powierzchniowych pozytywnie zweryfikowano lub odkryto szereg stanowisk z materiałami pochodzącymi z epoki kamienia. Wśród nich wyróżniono źródła charakterystyczne dla poszczególnych poziomów kulturowo-chronologicznych o następującej przynależności:

1. późny paleolit – 10 stanowisk,
2. mezolit – 59 stanowisk,
3. kultura ceramiki wstęgowej rytej – 48 stanowisk,

4. kultura ceramiki wstęgowej kłutej lub/i grupa brzesko-kujawska kultury lendzielskiej – 9 stanowisk,
5. kultura pucharów lejkowatych – 497 stanowisk,
6. kultura amfor kulistych – 107 stanowisk,
7. kultura ceramiki sznurowej – 12 stanowisk.

Udokumentowane stanowiska stały się podstawą do przeprowadzenia różnego rodzaju analiz i badań prezentowanych w innych miejscach niniejszej publikacji. Należy sądzić, że pozostałości osadnictwa epoki kamienia wystąpiły na jeszcze większej liczbie stanowisk. Są to jednak niecharakterystyczne wyroby krzemienne, których nie można przyporządkować do poszczególnych kultur, a często nie ma pewności, czy nie pochodzą z epoki brązu.

Szczegółowa inwentaryzacja źródeł archeologicznych na powierzchni stanowisk

Szczegółową, powierzchniową penetrację, polegającą na geodezyjnej trójwymiarowej rejestracji wszystkich źródeł archeologicznych wykonano na powierzchni wybranych stanowisk. W czasie prac terenowych każdemu odkrytemu artefaktowi nadano odrębny numer inwentaryzacyjny i dokładną lokalizację XYZ z błędem poniżej 2 cm. W latach 2015–2016 do terenowej inwentaryzacji używano tachimetru laserowego (ryc. 4). Od 2017 r. stosowany jest natomiast odbiornik GPS Hi-Target z kontrolerem iHand działający w trybie RTK (ryc. 5). Pozyskanie danych posiadających georeferencje umożliwi korelowanie i porównywanie wyników otrzymanych różnymi metodami badań nieinwazyjnych.

Szczegółową inwentaryzację zabytków przeprowadzono na 22 stanowiskach. Pracami objęto 2 osady KCWR oraz 12 osad, 6 cmentarzysk i 2 punkty osadnicze KPL. W czasie prac terenowych pozyskano zróżnicowane materiały ruchome w liczbie od 48 do 3890 przedmiotów odkrytych na poszczególnych stanowiskach. Najmniejsze zbiory pochodzą z badań pojedynczych megalitów KPL. Nieco więcej materiałów zarejestrowano w czasie prac w obrębie zgrupowań grobowców w Lubominie (tabela 3) i Łani (tabela 4). Zdecydowanie liczniejsze zbiory źródeł przyniosły badania osad. Najczęściej były to liczby rzędu kilkuset przedmiotów. Jako wyjątkowe należy potraktować zainwentaryzowanie ponad 3 tysięcy zabytków w Tymieniu, st. 11 i Łani, st. 4. Z powyższej charakterystyki wynika, że na znacznej części stanowisk pozyskano zaskakująco liczne zbiory zabytków, składających się głównie z fragmentów naczyń. W zdecydowanej większości są to jednak materiały o małych rozmiarach. W przypadku ceramiki najliczniej występują fragmenty o wielkości mieszczącej się w przedziale od 1 do 2 cm. Tak duży stan rozdrobnienia spowodował trudności w określeniu ich przynależności kulturowej. Z tego względu, w przypadku wielu stanowisk, część materiałów zostało przyporządkowanych do bardzo ogólnych kategorii chronologicznych typu: neolit, późny neolit, wczesna epoka brązu, epoka brązu, a nawet pradziej. Opisujący stan rozdrobnienia wynika z prowadzenia intensywnych upraw rolniczych, w tym z powszechnie stosowanym zabiegiem nacinania i rozdrabniania wierzchniej warstwy gleby i resztek poźniowych z użyciem obrotowej brony talerzowej.

W całym programie badań szczegółowa inwentaryzacja zabytków traktowana jest jako podstawowa metoda umożliwiająca charakterystykę badanych stanowisk w zakresie chronologii osadnictwa, jego przestrzennego zróżnicowania oraz stopnia zachowania substancji zabytkowej. Zastosowanie numerycznej planigrafii umożliwiło analizę danych kategorizowanych wg podziału chronologicznego, surowcowego i typologicznego poszczególnych zbiorów. W przypadku szeregu stanowisk możliwe było określenie powierzchni zasiedlenia dla różnych faz zasiedlenia oraz na wyróżnienie elementów wskazujących na zagospodarowanie przestrzenne, w tym szczególnie osad ludności KCWR i KPL. Analizowano tu występowanie koncentracji polepy wskazującej na obecność obiektów mieszkalnych KPL, czy też skupiska fragmentów naczyń łączone z obiektami ziemnymi KCWR. Należy zwrócić uwagę również na przepalone kości, które w dwóch przypadkach związane były z niszczonymi cmentarzyskami ciepłopalnymi z epoki brązu. Dla wielu stanowisk zinwentaryzowana ceramika i wyroby krzemienne zawierały również elementy charakterystyczne umożliwiające zaliczenie ich do konkretnych faz rozwojowych poszczególnych jednostek kulturowych. Ponadto, szczegółowe dane lokalizacyjne zabytków stworzyły możliwość



Ryc. 4. Wykorzystanie tachimetru laserowego w czasie szczegółowej inwentaryzacji źródeł archeologicznych na powierzchni stanowisk.

Fig. 4. The application of laser tachometer during a detailed archaeological inventory survey on the surface of the sites.



Ryc. 5. Wykorzystanie odbiornika GPS RTK w czasie szczegółowej inwentaryzacji źródeł archeologicznych na powierzchni stanowisk.

Fig. 5. The application of GPS RTK tracking unit during a detailed archaeological inventory survey on the surface of the sites.

weryfikacji źródłami archeologicznymi obserwacji pozyskanych z prospekcji lotniczej i geofizycznej czy geochemicznej. Konfrontowano tu wskazania dotyczące występowania warstw kulturowych, obiektów ziemnych, a także co bardzo ważne, struktur podziemnych i rozłożonych nasypów grobowców kujawskich.

Prospekcja lotnicza

W prowadzonych badaniach zastosowano prospekcję lotniczą jako podstawową metodę lokalizacji archiwalnych grobowców kujawskich, a także poszukiwania nowych obiektów, wcześniej nie sygnalizowanych w przekazach pisanych z XIX i XX wieku (R. Brzejszczak, P. Papiernik 2017). Ponadto wykorzystano ją również do badania wszystkich osad KPL i KCWR, na których wykonano szczegółowe inwentaryzacje źródeł archeologicznych.

W latach 2013–2014 prospekcja lotnicza była prowadzona z pokładu samolotu. W tym okresie w sumie wykonano tylko 4 naloty, które zdecydowanie nie były wystarczające do potrzeb zaplanowanych badań. Dlatego też, od 2014 r. w prospekcji lotniczej używany jest bezzałogowy statek powietrzny sterowany za pomocą fal radiowych, w postaci ośmiowirnikowca wykonanego na platformie DJI S1000 wyposażonego w gimbal Zenmuse Z15 z aparatem i kamerą Panasonic GH3 o możliwości rejestracji obrazu 16,1 megapikseli i filmu z rozdzielczością „Full HD” (ryc. 6). Zastosowanie tego typu sprzętu daje dużo większe możliwości niż nawet kilkurazowy przelot samolotem nad obszarem badań. Przewaga drona



Ryc. 6. Dron stosowany do prospekcji lotniczej.

Fig. 6. Drone – used for aerial prospection.

uwidacznia się w swobodzie sterowania oraz regulowania wysokości i długości nalołów. Ważna jest również możliwość elastycznego dostosowania terminów nalołów i szybkiego reagowania na zmieniające się warunki obserwacji terenowej. Pełna kontrola nad parametrami lotu takimi jak: pułap oraz kąt, z jakiego robione jest zdjęcie, pozwala na uzyskanie maksymalnej liczby informacji. Podczas kilkunastominutowego nalołu można wykonać nawet kilkaset zdjęć, w tym również w stanie tzw. zawisu.

Ogółem, w trakcie realizacji projektu, wykonano 200 nalołów, w trakcie których sporządzono 35 839 fotografii na obszarze o łącznej powierzchni około 38 km². Zdjęcia wykonywano w różnych porach roku (od lutego do października) w celu uchwycenia tzw. wyróżników wegetacyjnych lub glebowych, wskazujących na występowanie obiektów archeologicznych. W zależności od potrzeb pułap poszczególnych lotów wahał się od około 85 do 210 m, a powierzchnia obszaru objęta prospekcją podczas jednego nalołu obejmowała od około 10 do ponad 80 ha. Regułą prowadzonych prospekcji jest wielokrotne fotografowanie tych samych miejsc, dla potwierdzenia obserwacji przy odmiennych warunkach wilgotności i naświetlenia terenu oraz w różnych okresach wegetacji upraw. Wykonywana dokumentacja lotnicza, po pozytywnej interpretacji, jest rektyfikowana w oparciu o charakterystyczne punkty terenu, a następnie zdjęciom nadawane są georeferencje.

W wyniku zastosowania prospekcji lotniczej ustalono lub zaproponowano w sposób wiarygodny lokalizację 5 archiwalnych zgrupowań megalitów (Leśniczówka, st. 1; Lubomin, st. 5; Łania, st. 1; Obalki, st. 1; Tymień, st. 11) i 3 pojedynczych grobowców (Osiecz Mały, st. 8A; Skarbanowo, st. 14; Śmieły, st. 1). Prawdopodobnie zarejestrowano również 7 relikwów monumentów wcześniej nie sygnalizowanych w literaturze (w rejonie Błennej, Chociszewa, Gaju, Kazimierowa, Osieczka Małego, Józefowa, Wiszczelic), z których większość jako obserwacje tylko z 2018 lub 2019 r. wymagają jeszcze kolejnych badań nieinwazyjnych.

Prospekcję lotniczą zastosowano również w badaniach nieinwazyjnych 12 osad oraz 2 punktów osadniczych ludności KPL i 2 KCWR. W tym przypadku rejestrowano pradziejowe obiekty osadnicze, zasięg tzw. warstwy kulturowej oraz nowożytnie i współczesne przekształcenia terenu w postaci np. nieistniejącej już zabudowy, obiektów gospodarczych, a także elementów systemów obronnych z I i II wojny światowej.

Prospekcja geofizyczna

Badania geofizyczne, jako jedna z grup nieinwazyjnych technik prospekcji archeologicznej, umożliwiają rozpoznanie cech przypowierzchniowych warstw geologicznych bez bezpośredniej ingerencji w strukturę gruntu. Na podstawie wyników prospekcji możliwe jest wskazanie miejsc potencjalnej obecności struktur archeologicznych i określenie ich cech. Metody geofizyczne wrażliwe są na wiele rodzajów pozostałości dawnej aktywności człowieka, jak i przekształceń budowy geologicznej w wyniku jego działalności. Interpretacja uzyskanego zbioru danych oparta jest zatem o analizę kontrastu pomiędzy naturalnym tłem geologicznym a widocznymi zmianami wartości mierzonych cech.

Pomiary magnetyczne oferują szybkie pokrycie przestrzenne i są w stanie wykryć wiele typów obiektów. Są szczególnie wrażliwe na obiekty poddane obróbce termicznej i zawierające ferromagnetyki. Pozwalają na udokumentowanie m.in.: jam, wkopów, polepy, cegły, spalonego drewna, pieców czy palenisk. Badania przeprowadzono dwusondowym magnetometrem transduktorowym (ryc. 7). Łącznie pomiarami objęto powierzchnię około 36,5 ha.

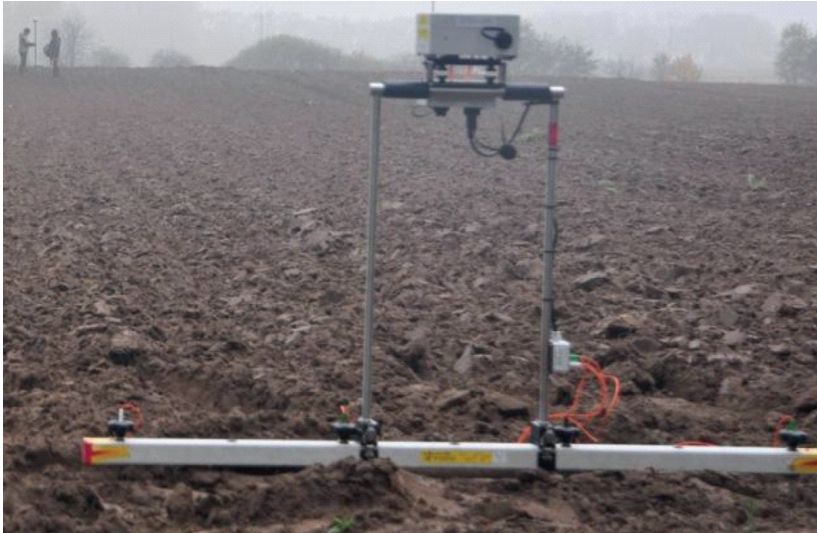
Pomiary elektrooporowe zastosowano w celu uzupełnienia wcześniejszej prospekcji magnetycznej. Dzięki nim możliwe jest wydzielenie różnic w budowie geologicznej oraz struktur podpowierzchniowych. Na podstawie wyników wydzielano strefy nisko- oraz wysokooporowe. Pierwsze wiązać można z wypełniskami obiektów archeologicznych, zasypianymi przekopami i naruszeniami stratygraficznymi (wkopami). Drugie wskazują najczęściej miejsca nagromadzenia większych okruchów skalnych, jak np. mury, rzędy kamieni, czy rumosz. Dane rejestrowano z zastosowaniem instrumentu Geoscan Research RM-15D Advanced, w konfiguracji elektrod *Wenner* o rozstawie elektrod 0,5 m i przy gęstości pomiaru wynoszącej 1 × 1 m (ryc. 8). Ogółem przebadano obszar o powierzchni około 3 ha.

Pomiary georadarowe wykorzystywane są do uzupełnienia obrazu stratygrafii struktur podpowierzchniowych. Wyniki przedstawiane są w formie profilów georadarowych. W badaniach wykorzystano georadar marki Utsi Electronics, wyposażony w ekranowaną antenę o częstotliwości 400 MHz. Pomiary zbierano w równoległych profilach oddalonych od siebie o 1 m. Łącznie rozpoznaniem objęto powierzchnię wynoszącą około 1,5 ha.

Produktem końcowym cyfrowych przekształceń danych georadarowych jest ich wizualizacja dwuwymiarowa w skali 256 odcieni szarości, tzw. „time-slice” lub przekrój czasowy. W większości przypadków pozwala ona na optymalne uwydatnienie informacji, które mogą świadczyć o obecności podpowierzchniowych obiektów archeologicznych na podstawie analizy kształtów anomalii.



Ryc. 7. Prospekcja magnetyczna instrumentem pomiarowym Bartington Grad601-2.
Fig. 7. Magnetic prospectation conducted with measuring instrument Barington Grad601-2.



Ryc. 8. Prospekcja geoelektryczna instrumentem pomiarowym Geoscan Research RM-15D Advanced.
Fig. 8. Geoelectric prospecting conducted with measuring instrument Geoscan Research RM-15D Advanced.

Geolokalizacja narożników obszarów badawczych lub bezpośrednia georeferencja pomiarów inwentaryzowane były w terenie z wykorzystaniem instrumentów GPS działających w trybie RTK lub tachimetrów laserowych. Wszystkie pomiary geofizyczne stanowią dane cyfrowe i posiadają georeferencje.

Tabela 1. Specyfikacja pomiarów geofizycznych poszczególnymi metodami

PARAMETRY BADAŃ GEOFIZYCZNYCH 2012–2019	
Parametry pomiarów magnetycznych	
Przyrząd pomiarowy	Bartington Grad 601–2
Liczba sond	2
Czułość instrumentu	0.03 nT
Gęstość pomiarów	Zróznicowane (1m x 0.25m, 0.5m x 0.25m, 0.5 x 0.12m)
Tryb badań	Równoległe, naprzemienne przejścia
Łączna powierzchnia	36,5 ha (3650 arów)
Pomiary elektrooporowe (2016r.)	
Instrument pomiarowy	Geoscan Research RM15-D Advanced
Układ elektrod	Wenner (0,5 m)
Gęstość pomiarów	1 x 1 m
Tryb badań	Równoległe, naprzemienne przejścia
Łączna powierzchnia	3 ha (300 arów)
Pomiary georadarowe (2016r.)	
Instrument pomiarowy	Utsi Electronics
Częstotliwość anteny	400 MHz
Maks. głębokość penetracji	Do 4 m p.p.t.
Rozstaw profili	ok. 1 m – 1.5 m
Łączna powierzchnia	1,35 ha (135 arów)

Prospekcja geochemiczna – oznaczania zawartości fosforu w gruncie metodą polową

Podstawy teoretyczne metody fosforowej były już opisywane w literaturze polskiej (B. Balke 1975; W. Brzeziński i in. 1983; M. Andrzejewski, T. Socha 1998; R. Bednarek i in. 2004, R. Bednarek, M. Markiewicz 2007; M. Markiewicz 2008). Zastosowana metoda terenowego oznaczania zawartości fosforu została opracowana przez P. Kittela i W. Tołoczko (P. Kittel, M. Sygulski 2010; P. Kittel i in. 2017; P. Sikora i in. 2015a, 2015b, 2017).

Ilość fosforu w badanych osadach oznaczana jest specyficzną metodą z elementami kolorymetrii i chromatografii. W procedurze zastosowana została bardzo selektywna reakcja, w której aniony ortofosforowe reagują w środowisku kwaśnym z anionami molibdenianowymi, tworząc kwas molibdenofosforowy o charakterystycznej żółtej barwie. Zastosowana w badaniach metoda polega na przekształceniu obecnych w próbce większości organicznych, nieorganicznych i mineralnych form fosforu w aniony ortofosforowe (PO_4^{3-}), w wyniku jej mineralizacji. Następnie stosowany jest „wywoływacz”, który prowadzi do kolejnej selektywnej reakcji, w wyniku której powstaje polimeryczny błękit fosforomolibdenowy. Intensywność zabarwienia błękitem jest proporcjonalna do zawartości ortofosforanów, czyli fosforu w próbce.

Zasadniczym celem przeprowadzonych analiz było określenie, na podstawie wielkości nagromadzenia zawartości fosforu w gruncie, zasięgu badanych stanowisk archeologicznych oraz nasycenia treścią kulturową ich obszaru. Wyniki opracowania powinny być pomocne przy planowaniu zakresu i intensywności prac archeologicznych oraz przy określaniu zasięgu stanowisk archeologicznych i stref osadniczych, a także ich charakteru.

Prace terenowe

Do poboru próbek w terenie użyto ręcznej sondy geologicznej Eijkelkamp zaopatrzonej w świder Edelamana typu kombi (ryc. 9). Próbki gruntu pobierano najczęściej z głębokości 90–100 cm od współczesnej powierzchni terenu. Jako podstawę przyjęto pobór próbek w ramach ciągów o zróżnicowanej długości (najczęściej 100–250 m), zasadniczo w 10- lub 20-metrowych odstępach między nimi i odległościach pomiędzy kolejnymi wierceniami w ciągach wynoszących 10 m. Starano się, aby siatka badawcza miała oczka o wymiarach 10×20 m (w Osieczu Wielkim i PawłóWKu) lub 10×10 m (w Tymieniu i Łani), czyli na 1 hektar powierzchni badawczej przypadało odpowiednio 50 lub 100 próbek. Orientacja ciągów nawiązywała do granic działek geodezyjnych. Założona siatka badawcza powiązana została każdorazowo z układem współrzędnych topograficznych w Państwowy Układ Współrzędnych Geodezyjnych 1992 (EPSG:2180) przy użyciu pomiarów instrumentem GPS RTK. Ciągi wierceń numerowano kolejno cyframi rzymskimi, a odwierty w ich ramach i odpowiadające im próbki numerowano dodając do rzymskiej kolejne cyfry arabskie. Dla każdego obiektu zakładano niezależny system numeracji.

Jedynie w Wietrzychowicach, ze względu na zalesienie obszaru, pobór próbek wykonano w ramach nieregularnej siatki punktów położonych w odległości około 10–30 m od najbliższego sąsiedniego punktu. Wiercenia uzyskały numerację ciągłą, lokalizowane były z zastosowaniem odbiornika GPS eTrex 20 firmy Garmin. Punkty lokalizowane były w układzie WGS 84 (EPSG:4326), a następnie współrzędne przekonwertowano na Państwowy Układ Współrzędnych Geodezyjnych 1992 (EPSG:2180). Odwierty i odpowiadające im próbki numerowano kolejno z zastosowaniem cyfr arabskich oddzielnie dla każdego obiektu.

W 2015 r. poddano analizom obszary dwóch stanowisk archeologicznych w Osieczu Wielkim i w PawłóWKu. Na każdym z nich badania przeprowadzono na powierzchni 3 ha. W 2017 r. wykonane zostały badania zawartości fosforu w gruncie metodą polową na obszarze stanowiska w Tymieniu. Analizom poddany został obszar o powierzchni 2 ha, z którego pobranych zostało 100 próbek gruntu. Obszar o powierzchni 3 ha stanowiska w Łani objęty został badaniami zawartości fosforu w gruncie metodą polową w 2018 r. Ogółem opracowana została następująca ilość próbek na poszczególnych stanowiskach: 1501 w Wietrzychowicach, 152 w Osieczu Wielkim, 149 w PawłóWKu, 200 w Tymieniu, 300 w Łani.

Prace laboratoryjne

Metodykę polowego oznaczania zawartości fosforu w gruncie opracowano w oparciu o metodę R. Eidta (1973) we własnej modyfikacji (ryc. 10). Za O. Arrheniusem (1950) zastosowano metodę molibdenianową. Zbliżoną metodą polową proponują G. Ayala i in. (2007).

Z każdej pobranej z wiercenia próbki gruntu, dla potrzeb analizy chemicznej przygotowywano dwie próbki zasadnicze:

- a) mniejsza – o objętości $0,25 \text{ cm}^3$ i o masie około 0,4–0,5 grama,
- b) większa – o objętości $0,50 \text{ cm}^3$ i o masie około 0,8–1,0 grama (ciężar zależy od tekstury oraz wilgotności osadu).



Ryc. 9. Pobór próbek do badań geochemicznych z użyciem ręcznej sondy geologicznej Eijkelkamp zaopatrzonej w świder Edelmana typu kombi.
Fig. 9. Collecting samples for geochemical research by means of a hand geological probe Eijkelkamp, equipped with Edelaman drill, combi type.

Obie próbki układano obok siebie na arkuszu bibuły filtracyjnej i poddawano działaniu dwóch odczynników chemicznych:

- odczynnik A – roztwór wodny mieszaniny czterowodnego siedmiomolibdenu amonowego i stężonego HNO_3 w ilości 1:5,
- odczynnik B – roztwór wodny kwasu L-askorbinowego.

Próbki gleby zakroplone zostały odczynnikiem A, odpowiednio czterema – większe próbki i trzema – mniejsze próby. Ponownie, po około 30 sekundach próby potraktowano jeszcze dwiema kroplami tego samego odczynnika. W wyniku zachodzących reakcji odczynnik A prowadził do uwolnienia fosforu z kompleksu sorpcyjnego gleby, a następnie do jego reakcji z molibdenianem amonowym. Jako produkt reakcji powstał heteropolikwas β -molibdenofosforowy $\text{H}_3[\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4]$. Anion $[\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4]^{3-}$, w przypadku obecności większego nagromadzenia fosforu w gruncie, daje bladożółte zabarwienie bibuły, rozchodzące się promieniście na zewnątrz próbki.

Następnie, po około 1 minucie, próbki zakroplone zostały trzema-czterema kroplami odczynnika B. W wyniku reakcji, prowadził on do redukcji kwasu fosforomolibdenowego $\text{H}_3[\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4]$ do błękitu



Ryc. 10. Oznaczanie zawartości fosforu w próbkach uproszczoną metodą polową.

Fig. 10. Indication of phosphorus content in samples, conducted with a simplified field method.

fosforomolibdenowego. Powodowało to stopniową zmianę bladożółtego zabarwienia na kolor niebieski, aż po ciemnoniebieski. W przypadku niepełnej zmiany barwy żółtej w niebieską dodawano kolejne 1–2 krople odczynnika B, aby wprowadzić jego nadmiar. Nie wpływało to jednak na wynik oznaczenia ze względu na konieczność całkowitego przesylenia badanego materiału odczynnikami A i B.

Przy znikomej obecności fosforu w gruncie nie dochodzi do zabarwienia bibuły na żółto i dalej, w konsekwencji na niebiesko.

Wypracowano metodę względnego określania zawartości fosforu w badanych próbkach gruntu. Zastosowano skalę umowną o rozpiętości od 0. do 5. stopni umownych (st. um.), która oparta jest na wzrokowej ocenie wielkości i intensywności błękitnego zabarwienia bibuły w otoczeniu próbek. Ocena próbek odbywa się po około 10 minutach od zakroplenia odczynnikiem B. Wykonywana jest także dokumentacja fotograficzna arkuszy analizowanych próbek.

Zastosowana punktacja stopni umownych oznacza:

0. st. um. – brak lub bardzo niska zawartość fosforu w gruncie,
1. st. um. – niska zawartość fosforu w gruncie,
2. st. um. – średnia zawartość fosforu w gruncie,
3. st. um. – wysoka zawartość fosforu w gruncie,
4. st. um. – bardzo wysoka zawartość fosforu w gruncie
5. st. um. – skrajnie wysoka zawartość fosforu w gruncie.

Dla przypadków niejednoznacznych wprowadzono także umowne stopnie pośrednie leżące pomiędzy wymienionymi głównymi stopniami umownymi. Przykładowo: stopień 2/3. oznacza zawartość fosforu na poziomie pośrednim pomiędzy 2. i 3. st. um.

Wzbogacenie poziomów glebowych (osadów podłoża) w związki fosforu jest wynikiem akumulacji szczątków organicznych, w tym w szczególności szczątków pochodzenia zwierzęcego. Szczątki te do okresu współczesnego uległy najczęściej całkowitemu rozkładowi. W przeprowadzonych dotychczas analizach zaobserwowano podwyższone zawartości fosforu w gruncie (3., 4. lub 5. stopień umowny) w strefach intensywnie użytkowanych osadniczo – są to przeważnie obszary, na których występują nieruchome i ruchome obiekty archeologiczne, w tym osadowe i sepulkralne. Na peryferiach obszarów nasyconych obiektami archeologicznymi lub w miejscach mniej intensywnie użytkowanych kulturowo przeważnie notowane jest nasycenie gruntu fosforem na poziomie 2. lub 3. (ew. 2/3.) stopnia umownego. Oznaczenie zawartości fosforu w gruncie nie pozwala na określenie chronologii zarejestrowanych relikwów śladów osadniczych.