

WYKORZYSTANIE METODY LITOLOGICZNEJ DO WERYFIKACJI REZULTATÓW NIEINWAZYJNYCH BADAŃ KURHANÓW Z EPOKI BRĄZU NA POGRANICZU ŚLĄSKO-WIELKOPOLSKIM (LAS KROTOSZYN, WIELKOPOLSKA)

Use of the lithological method in verifying results of non-invasive surveys
of the Bronze Age barrow mounds on the of Silesia and Wielkopolska borderland
(Krotoszyn Forest, Wielkopolska)

IWONA HILDEBRANDT-RADKE*, MATEUSZ STRÓŻYK**, JANUSZ CZEBRESZUK***,
MATEUSZ JAEGER****, ŁUKASZ POSPIESZNY*****, MATEUSZ CWALIŃSKI***,
JAKUB NIEBIESZCZAŃSKI***, JOANNA ROTNICKA*****

Zarys treści. Upowszechnienie się w archeologii metod nieinwazyjnych umożliwiło w znacznie większej skali badania obszarów leśnych. W badaniach cmentarzysk kurhanowych położonych na Wale Krotoszyńskim (Las Krotoszyn), w celu rozpoznania morfometrycznego cmentarzyska kurhanowego i identyfikacji kopców, które weryfikowano dodatkowo w terenie, zastosowano metody lotniczego skaningu laserowego do wykonania numerycznego modelu terenu. Wykonanie prospekcji magnetometrycznej, na podstawie oceny zróżnicowania anomalii magnetycznych, dało możliwość uchwycenia złożonej struktury wewnętrznej badanych kurhanów. Wyniki magnetometrii weryfikowane były poprzez odwierty geologiczne w miejscach występowania anomalii magnetycznych w obrębie kurhanu, a pobrany z nich materiał poddano badaniom litologicznym oraz analizie podatności magnetycznej.

Słowa kluczowe: kurhany, lotniczy skaningu laserowy (ALS), prospekcja magnetometryczna, metoda litologiczna, epoka brązu, Las Krotoszyn

Abstract. The spread of non-invasive methods in archaeology made it possible to study forest areas. In the study of barrow cemeteries located on the Krotoszyn Ridge (Krotoszyn Forest), aerial laser scanning methods were used to implement a numerical terrain model for morphometric recognition and identification of burial mounds, which were additionally verified in the field. Magnetometric prospection made it possible to study the complex internal structure of the studied mounds on the basis of the diversity of magnetic anomalies. The verification of the geomagnetic surveys was based on geological drillings in the places with the largest magnetic anomalies within the burial mounds; the material collected from them was subjected to lithological tests and analysis of magnetic susceptibility.

Key words: barrow mounds, Airborne Laser Scanning (ALS), magnetometry prospection, lithological methods, Bronze Age, Krotoszyn Forest

Wstęp

W ciągu ostatnich kilku lat upowszechniły się w Polsce metody lotniczego skaningu lotni-

czego (ALS – *Airborne Laser Scanning*) oparte na technologii LIDAR (*Light Detection and Ranging*). Umożliwiły one, między innymi, wykrywanie obiektów archeologicznych o charakterystycznej formie terenowej, np. grodzisk,

* Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Instytut Geoinformacji i Geokologii, ul. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań; e-mail: hilde@amu.edu.pl

** Muzeum Archeologiczne, ul. Wodna 27, Pałac Górków, 61-781 Poznań; e-mail: mat_stroz@wp.pl

*** Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Wydział Nauk Historycznych, Instytut Archeologii, ul. Umultowska 89D, 61-614 Poznań; e-mail: jancze@amu.edu.pl, mateuszcwalinski@gmail.com, jakubniebieszczanski@gmail.com

**** Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Instytut Kultury Europejskiej, ul. Kostrzewskiego 5-7, 62-200 Gniezno; e-mail: jaeger@amu.edu.pl

***** Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Oddział Poznań, ul. Rubież 46, 61-612 Poznań; e-mail: l.pospieszny@wp.pl

***** Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Instytut Geologii, ul. Krygowskiego 12, 61-680 Poznań; e-mail: joanrot@amu.edu.pl

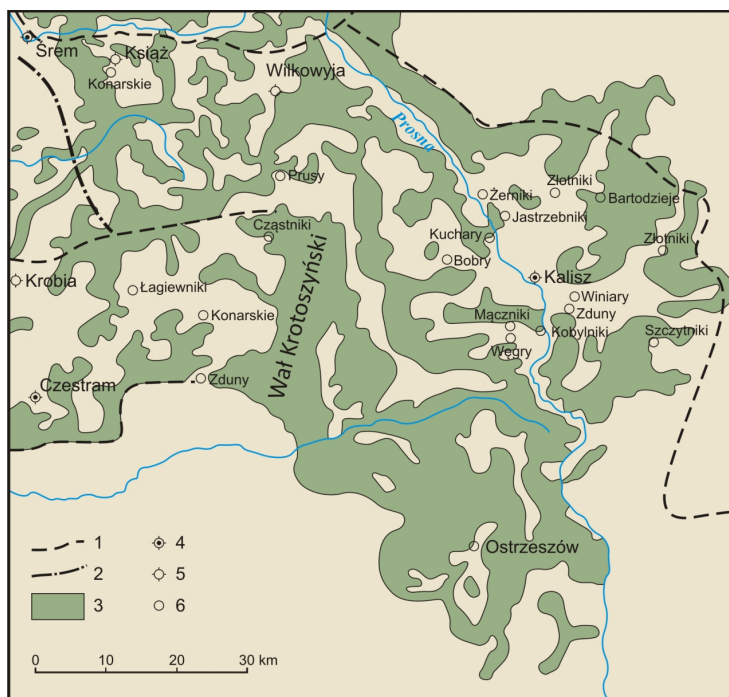
cmentarzysk kurhanowych, grobowców megalitycznych, sieci historycznych dróg i pól, umocnień, systemów uprawy, miejsc kopalnictwa (Banaszek 2014). Ich zastosowanie otworzyło perspektywę prowadzenia badań na obszarach leśnych, do tej pory unikanych przez archeologów ze względu na ograniczenia możliwości rejestracji stanowisk archeologicznych oraz ich dalszych badań wykopaliskowych. W prowadzonych badaniach odkrywano stanowiska archeologiczne, ze względu na podobieństwo morfometryczne do wielu form naturalnych, powinny być poddawane procesowi weryfikacji za pomocą innych metod (Rzepecki i in. 2015). W dobie rozwoju technologicznego lasy okazały się terenami o znacznym potencjale badawczym, ukrywającym wiele nieznanymi stanowisk archeologicznych. Drugim czynnikiem sprzyjającym zachowaniu się w dobrym stanie konserwatorskim stanowisk archeologicznych na obszarach zalesionych są długoletnie nasadzenia leśne, które ograniczyły niszczenie stanowisk. Działo się tak na obszarach rolniczych, gdzie długotrwała orka przyczyniała się do niwelacji wielu stanowisk o wypukłej formie terenu, których lokalizacja współcześnie jest słabo czytelna w terenie (Czebreszuk i in. 2013, 2017; Jaeger i in. 2015). Wielkopolska, w obrębie której zlokalizowane jest badane cmentarzysko kurhanowe należy w Polsce do obszarów o długotrwałej działalności rolniczej. Skutkowało ona stosunkowo wczesnym trwałym odlesieniem rozległych obszarów, przekształconych na grunty orne, bądź użytki zielone. Dowodzą tego mapy zmian lesistości od XIV do XIX wieku opracowane dla Wielkopolski przez Hładyłowicza (1932) (rys. 1). Zdaniem Hilczerówny (1967) najdłużej zalesione były obszary gleb słabych, szczególnie piaszczystych gleb bielcowych. Znaczne zalesienie tych stref potwierdzają liczne nazwy toponomastyczne i rozmieszczenie osadnictwa, które nawet w późnym średniowieczu i w czasach nowożytnych omijało tereny zalesione (Hładyłowicz 1932). Pokrywa leśna obejmowała gleby bielcowe rozwinięte na podłożu piaszczystym oraz rozległe powierzchnie wysoczyznowe, na których przeważały gleby brunatne powstałe na glinach zwałowych oraz piaskach naglinowych i naiłowych. Gleby te porastały kompleksy lasów liściastych i mieszanych, w których ważnym składnikiem był dąb (Hildebrandt-Radke, Przybycin 2011). Do obszarów morenowych należy zaliczyć Wał Krotoszyński, który jest wałem moreny czołowej i stanowi najwyższy element morfometryczny badanego terenu. Ten właśnie obszar znany z trwałego zalesienia, stanowi siedlisko drzewo-

stanów łąkowych (Dąbrowa Krotoszyńska) w wieku przekraczającym niekiedy 150 lat. Dominują tu dęby, z domieszką grabów i buków o wysokiej jakości drewna (Heise i in. 2012).

Opisywana strefa pogranicza Wielkopolski i Śląska w środkowej epoce brązu (1550–1300 p.n.e.) stała się obszarem intensywnie eksplorowanym przez lokalny odłam kultury mogiłowej znany głównie poprzez informacje uzyskane z pochówków podkurhanowych (Cwaliński, Niebieszczański 2012, 2013; Jaeger i in. 2015) (rys. 2). Przeprowadzone do tej pory badania obejmują wykonane plany rozmieszczenia kurhanów na cmentarzyskach za pomocą metody krokowej oraz eksploatację wykopaliskową pojedynczych kurhanów. Badania wykopaliskowe prowadzono w II połowie XIX wieku, na początku XX stulecia oraz w okresie międzywojennym, kiedy to Józef Kostrzewski badał kurhany w okolicach Krotoszyna i Ostrowa Wielkopolskiego (Kostrzewski 1924).

Nowy etap w badaniach cmentarzysk kurhanowych Wału Krotoszyńskiego zaczął się na początku XXI wieku. Badania rozpoczęte w 2008 roku miały na celu nieinwazyjne rozpoznanie i dokumentację cmentarzyska kurhanowego kultury mogiłowej w Smoszewie. Następnie prace terenowe poszerzono o badania wykopaliskowe kurhanu 15 (st. Smoszew 1), realizowane w oparciu o wyniki prospekcji nieinwazyjnej (Kneisel i in. 2010; Szumotalska 2012, Kasprolewicz 2013). Natomiast wiosną 2012 roku przeprowadzono nalot z wykorzystaniem skaningu laserowego nad całą powierzchnią lasu na Wale Krotoszyńskim, obejmując łącznie obszar 65 km² (Czebreszuk i in. 2013, 2017; Jaeger i in. 2015).

W 2013 roku rozpoczęto kolejny projekt, który swym zasięgiem objął obszar całego Lasu Krotoszyn (Stróżyk 2016). Rezultaty tego projektu omówione zostały w poniższym artykule. Celem podjętych badań była próba odkrycia prawidłowości w lokalizacji kurhanów względem cech środowiskowych, na przykład hydromorfometrycznych, typów form terenu i ich charakterystyki litologicznej. Innym zakładanym celem podjętych badań, była weryfikacja uzyskanych do tej pory wyników badań nieinwazyjnych wykonanych dla kurhanów, w tym prospekcji magnetometrycznej, poprzez odwierty geologiczne w miejscach występowania anomalii magnetycznych. Charakterystyka litologiczna miała odpowiedzieć na pytania, czy kurhany budowano z osadów najbliższego otoczenia, czy w ich budowie wewnętrznej uwidoczniło się zróżnicowanie litologiczne wskazujące na obecność osadów nienawiązujących do osadów podłoża formy, a także czy w litologii i geochemii

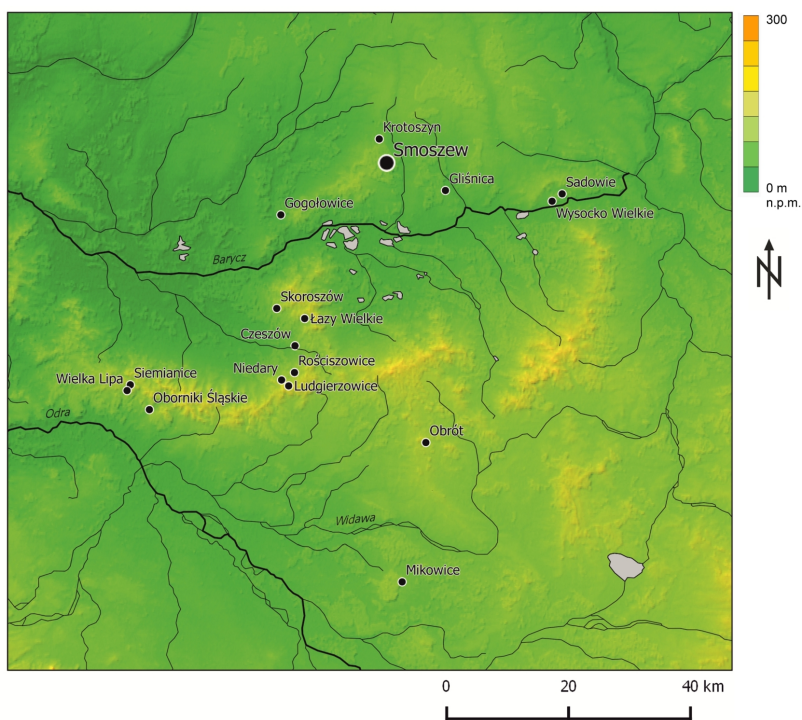


Rys. 1. Zasięg powierzchni leśnych i bagiennych u schyłku XIV wieku według Hładyłowicza (1932)

1 – zasięg terytoriów plemiennych w XII i XIII w., 2 – granice kasztelanii dla wieku XII i XIII, 3 – zasięg lasów i bagien u schyłku XIV w., 4 – stolice ziem, 5 – grody kasztelanii w XIII i XIV wieku, 6 – późniejsze ośrodki (XVI w.)

Range of forest and swamps at the end of the fourteenth century according to Hładyłowicz (1932)

1 – the extent of tribal territories in the 12th and 13th centuries, 2 – borders of castellany for the 12th and 13th centuries, 3 – extent of forests and marshes at the end of the 14th century, 4 – capitals of land, 5 – castellany fortified settlements in the 13th and 14th centuries, 6 – later centres (16th century)



Rys. 2. Rozmieszczenie cmentarzysk ze starszego okresu epoki brązu w dorzeczu Baryczy i Widawy (na podstawie Butent 1992; Jaeger, Pospieszny 2011; Cwaliński, Niebieszczański 2013; Jaeger i in. 2015)

Distribution of cemeteries from the older Bronze Age in the Barycz and Widawa basins (based on Butent 1992; Jaeger, Pospieszny 2011; Cwaliński, Niebieszczański 2012; 2013; Jaeger *et al.* 2015)

zarejestrował się zapis dawnej obrzędowości sepulkralnej. Celem metodycznym pracy było skonfrontowanie wyników badań magnetometrycznych z litologią osadów. Starano się w ten sposób odpowiedzieć na pytanie, czy określone anomalie magnetyczne i ich interpretacja jako elementów konstrukcyjnych kurhanów ma odzwierciedlenie w wynikach analiz litologicznych pochodzących z odwiertów geologicznych oraz analiz litologicznych pobranych osadów.

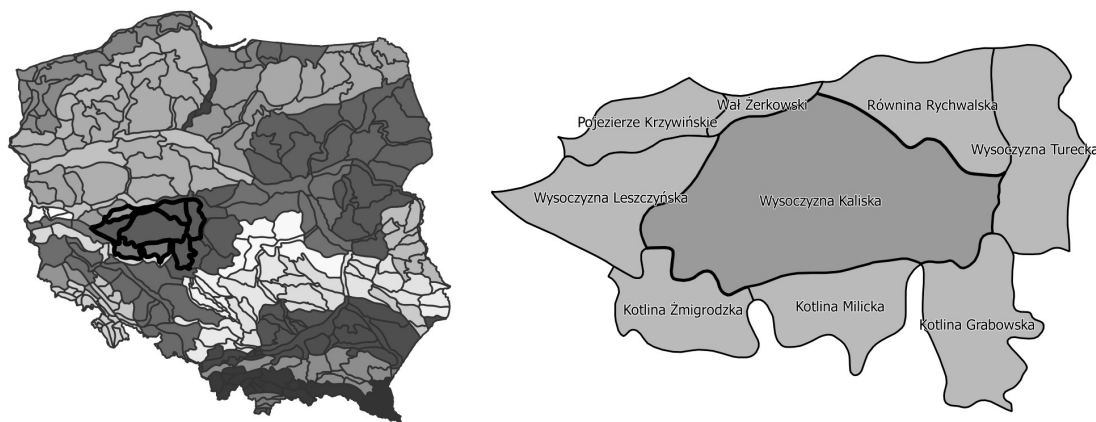
Obszar badań

W regionalizacji fizycznogeograficznej obszar badań położony jest w makroregionie Niziny Południowopolskiej, w mezoregionie Wysoczyzny Kaliskiej (Kondracki 2000). Wysoczyzna Kaliska stanowi przedłużenie Wysoczyzny Leszczyńskiej (318.11) w kierunku wschodnim (rys. 3). Oba mezoregiony rozgranicza kotlinowate Obniżenie Gostyńsko-Rawickie. W wyniku intensywnej denudacji peryglacialnej pokrywa morenowa na Wysoczyźnie Kaliskiej zniszczona została do tego stopnia, że miejscami (np. pod Krotoszynem) można zaobserwować odsłaniające się spod niej zaburzone glacitektonicznie iły plioceńskie. Występują tutaj także ostańce moren czołowych zlodowacenia warciańskiego w postaci glacitektonicznych wzgórz (Kondracki 2000). W podziale geomorfologicznym Niziny Wielkopolskiej Krygowskiego (1961) obszar badań zaliczany jest do regionu Wysoczyzna Kaliska z subregionem V5 – Wału Krotoszyńskiego i V1 – Równiny Koźmińskiej.

Współczesne zróżnicowanie morfometryczne omawianego obszaru jest rezultatem kilku plejsto-

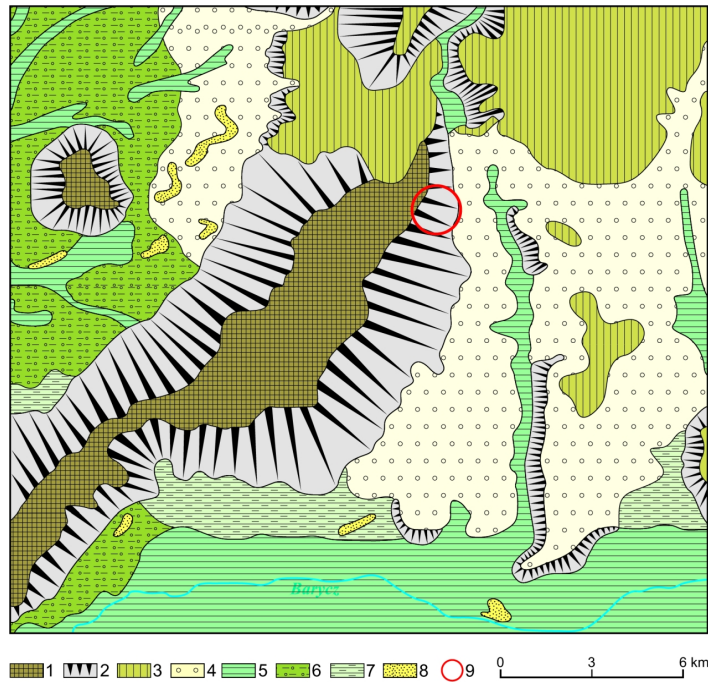
ceńskich faz rozwojowych. Największy wpływ na ukształtowanie terenu Niziny Południowopolskiej miał okres zlodowacenia środkowopolskiego. W okresie tym, pod wpływem działalności lądolodu i jego wód, ukształtowały się moreny czołowa i denna oraz pola sandrowe. Z kolei podczas interglacjału emskiego niszczące procesy mechaniczne usuwały utworzony w cyklu glacialnym materiał. Największy wpływ na obecny wygląd terenu miały peryglacialne procesy denudacyjne w czasie zlodowacenia wisły. Cykl ten przejawiał się intensywnym niszczeniem oraz wyrównywaniem wszelkich form powierzchni ziemi i zakończył się około 12 tysięcy lat temu. Plejstocieńskie procesy rzeźbotwórcze zaznaczają się w obecnym ukształtowaniu terenu obecnością rozległej wysoczyzny dennomorenowej oraz ciągu pagórków morenowych, w postaci Wału Krotoszyńskiego (rys. 4). Ostatnim cyklem rozwojowym, który kształtuje współczesną rzeźbę terenu jest trwający do dziś holoceniński cykl erozyjny. Holocenińskie procesy erozyjno-akumulacyjne doprowadziły do utworzenia dolin rzecznych Orli, Czarnej Wody oraz Żydowskiego Potoku (Macias 1995; Wrzeński, Kaniecki 2000).

Najważniejszy dla przedstawionego problemu Wał Krotoszyński to glacitektoniczne wzgórze, będące recesyjnym pasmem czołowomorenowym związanym ze strefą marginalną stadiału warty zlodowacenia odry (środkowopolskiego). Współcześnie mają postać złagodzonych pagórków dochodzących do 180 m n.p.m. powstałych w wyniku silnego przekształcenia w okresie interglacjału emskiego oraz cyklu peryglacialnego w czasie zlodowacenia wisły (rys. 5) (Macias 1995).



Rys. 3. Lokalizacja Wysoczyzny Kaliskiej wraz z otaczającymi ją mezoregionami na tle mapy makroregionów Polski (wg Kondracki 2000)

Location of the Kalisz Plateau with its surrounding mesoregions against the macroregions of Poland (acc. to Kondracki 2000)

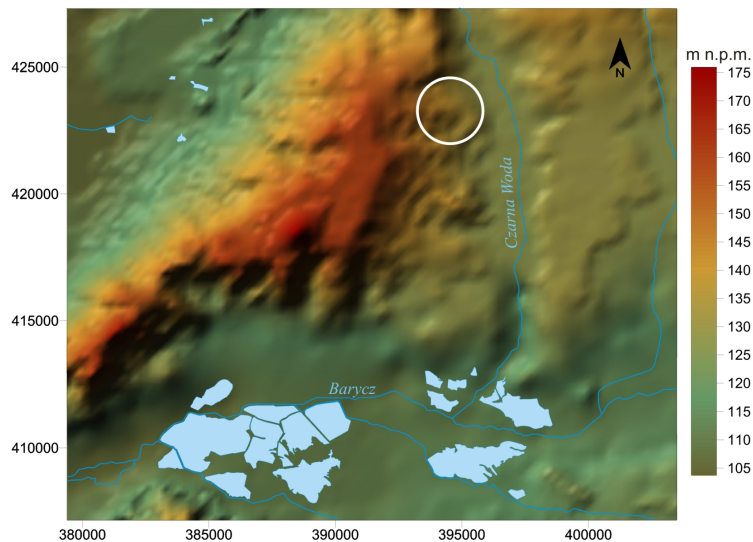


Rys. 4. Lokalizacja obszaru badań na tle ukształtowania terenu opracowana na podstawie cyfrowej mapy geomorfologicznej Niziny Wielkopolsko-Kujawskiej pod red. Krygowskiego (1958, 1961, 2007)

1 – strefa pagórków moreny czołowej o drobnym rytmie, 2 – stoki i zbocza, 3 – wysoczyzna morenowa płaska ze zlodowacenia środkowopolskiego, 4 – równiny sandrowe, 5 – terasa zalewowa, 6 – terasa środkowa wydmy, 7 – terasa wysoka wyższa, 8 – wydmy, 9 – obszar badań

Location of the research area against the landform based on the digital geomorphological map of the Wielkopolsko-Kujawska Lowland, edited by Krygowski (1958, 1961, 2007)

1 – zone of terminal moraines with a fine rhythm, 2 – slopes, 3 – flat moraine plateau from the Central Polish glaciation, 4 – outwash plains, 5 – floodplain, 6 – middle dune terrace, 7 – upper high terrace, 8 – sand dunes, 9 – study area



Rys. 5. Lokalizacja badanych cmentarzysk kurhanowych w północno-wschodniej części Wału Krotoszyńskiego na cyfrowym modelu wysokościowym (PUWG 1992) (oprac. I. Hildebrandt-Radke)

określenie zaznaczono obszar badań

Location of the studied barrow cemeteries against the digital elevation model (PUWG 1992) (elaboration by I. Hildebrandt-Radke)

circle indicates study area

W południowej części omawianego obszaru występuje terasa środkowa związana z funkcjonowaniem Pradoliny Barucko-Głogowskiej, będącej strefą odpływu wód roztopowych lądolodu. Na wspomnianej piaszczystej terasie występuje ciąg wydm śródlądowych. Wykorzystują ją rzeki: Orla, Żydowski Potok oraz rów Jawnik. W dolinach rzek zachowały się także terasy zalewowe (Macias 1995).

W południowo-wschodniej części badanego obszaru usytuowana jest rozległa równina sandrowa rozcięta przez dolinę Czarnej Wody, w której powstała terasa środkowa. Budują ją piaski oraz żwiry pochodzące z depozycji wodnolodowcowej. Forma ta osiąga wysokość 130–135 m n.p.m. Dolinę Czarnej Wody charakteryzuje asymetryczność zboczy. Odmienność ta wynika z jej budowy geologicznej. Zbocze zachodnie będące częścią glaci-tektonicznie spiętrzonej moreny czołowej jest wyższe i bardziej strome. Składa się z piasków i żwirów zalegających na glinie zwałowej. Natomiast łagodniejsze zbocze wschodnie cechuje się mniejszą wysokością niż zbocze zachodnie i jest fragmentem równiny sandrowej, zbudowanej z utworów glaci-fluwialnych, czyli żwirów i piasków (Wrzesiński, Kaniecki 2000).

Badane cmentarzyska kurhanowe

Większość kurhanów zarejestrowanych na obszarze Lasu Krotoszyn leży na bardziej stromym, zachodnim zboczu doliny Czarnej Wody. Największa grupa mogił (około 60%) znajduje się na długich stokach wzniesienia morenowego. Natomiast w części szczytowej, pagórka moreny czołowej oraz w rejonie występowania kemów bądź ozów oraz piasków wydmowych zlokalizowano 21% nasypów (Czebreszuk i in. 2013; Pospieszny 2013). Pozostałe obiekty funeralne występują w pasie równiny sandrowej oraz sporadycznie na obszarze równiny zalewowej w części przystokowej.

Metody badań

Kwerenda archiwalna

Na podstawie kwerendy archiwalnej oraz weryfikacji terenowej wykonanej przy okazji badań ratowniczych kurhanu 15 w Smoszewie zewidencjonowano 30 obiektów kurhanowych.

W toku dalszych badań nad archiwaliami odnaleziono niepublikowaną dotąd dokumentację badań wykopaliskowych z lat powojennych (Stró-

żyk 2016). Zdobyte w procesie kwerendy informacje okazały się cenne z punktu widzenia analityki porównawczej obiektów funeralnych położonych w rejonie Krotoszyzna.

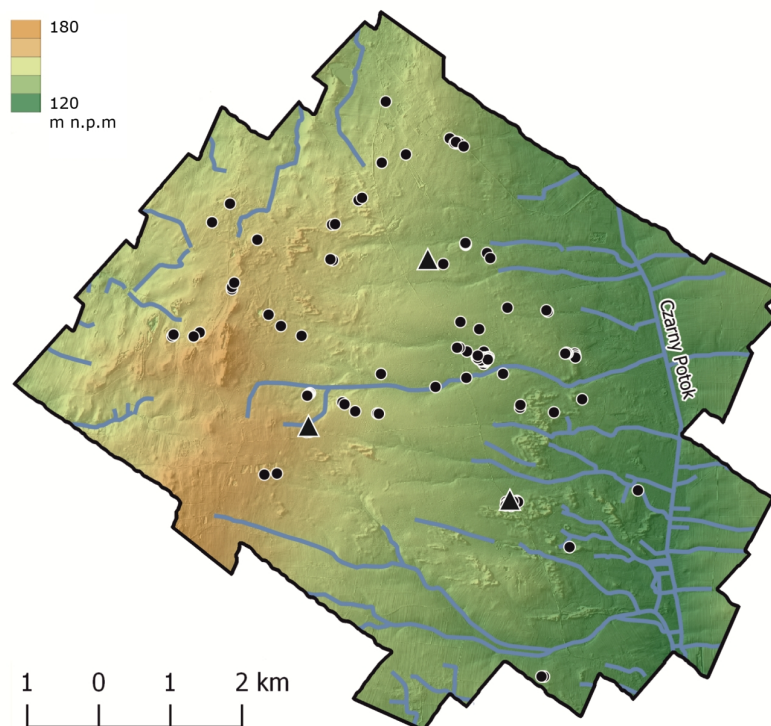
Lotniczy skaning laserowy (ALS) i Numeryczny Model Terenu

W ramach badań nieinwazyjnych przeprowadzono na cmentarzysku lotniczy skaning laserowy (ALS), a następnie wykonano na jego podstawie Numeryczny Model Terenu (NMT), określono parametry wysokościowe kurhanów, stan zachowania obiektów oraz potencjalne zagrożenia, dodatkowo dla części stanowiska przeprowadzono prospekcję magnetometryczną. W procesie skaningu zastosowano standardowe parametry pomiarów przyjęte dla terenów zalesionych (gęstość pomiaru skanowania 4 punkty na metr kwadratowy, typ rejestracji echa *Full Waveform* (Doneus, Briese 2006; Doneus i in. 2008).

Wykorzystując przestrzenne analizy geomorfometryczne, wytypowano formy terenowe o kształcie odpowiadającym kurhanom ze znanych cmentarzysk środkowej epoki brązu odkrytych dotąd w obrębie Lasu Krotoszyn (Czebreszuk i in. 2013). W wyniku badań nieinwazyjnych zarejestrowano 176 obiektów, z czego 118 po weryfikacji terenowej zaklasyfikowano jako kurhany (rys. 6). Weryfikacja polegała na eliminacji ze zbioru obiektów hałd śmieci, przyzm ziemi oraz kamieni znajdujących na krawędzi pól i przy drogach. Natomiast przy kwalifikacji obiektów jako kurhany przyjęto kryteria: obecności dużych kamieni na powierzchni kurhanu, szczególnie w wieńcu, podobieństwa morfometrycznego form, występowania w grupach, w których przeprowadzono dla pojedynczych kurhanów badania magnetometryczne lub wykopaliskowe, czy też rozpoznano wewnętrzny wieniec kamienny.

Prospekcja magnetometryczna

W celu zbadania struktury wewnętrznej kurhanów przeprowadzono prospekcję magnetometryczną dla 25 wytypowanych kurhanów oraz porównano jej rezultaty z wynikami wcześniejszych badań wykopaliskowych. Prospekcję przeprowadzono dla powierzchni pomiarowych tzw. gridów o wymiarach 10x10 bądź 20x20 m, w zależności od dostępności terenu. Obserwacje zmian gradientu składowej pionowej natężenia pola magnetycznego prowadzono z zastosowaniem magnetometru Bartington Fluxgate Grad 601–1, z dokładnością 0,1 nT (nano Tesli), co 0,25 m, wzdłuż profili



Rys. 6. Numeryczny Model terenu (NMT) północno-wschodniej części Wału Krotoszyńskiego wykonany na podstawie wyników lotniczego skaningu laserowego (oprac. M. Stróżyk)

na rysunku zaznaczono główne elementy sieci hydrograficznej oraz rozmieszczenie obiektów kurhanowych (trójkątem oznaczono kurhany poddane szczegółowym analizom litologicznym i geologicznym)

Digital Elevation Model (DEM) of the north-east Krotoszyn Ridge based on aerial laser scanning

the main elements of the hydrographic network and the distribution of barrow objects are shown in the Figure

pomiarowych oddalonych od siebie o 0,5 m. W celu podniesienia jakości pomiarów prowadzono je w tzw. trybie równoległym (pomiar odbywał się wyłącznie w jednym kierunku). Skuteczność metody magnetometrycznej do wykrywania konstrukcji wewnętrznych kurhanów dowiedziona została w badaniach poprzedzających na stanowisku Smoszew 1 (Czebreszuk i in. 2013). Opracowanie wyników prospekcji magnetometrycznej wykonano za pomocą oprogramowania Geoplot 3.0. W celu lepszej reprezentacji anomalii, mogących mieć związek ze strukturą wewnętrzną kurhanów (Schmidt 2007; Pospieszny 2011; Makarowicz i in. 2018), wyniki prospekcji magnetometrycznej zostały przedstawione za pomocą przycięcia wartości do poziomów adekwatnych dla danego przypadku. Zabieg ten pomógł również uniknąć błędnych interpretacji wizualizacji wyników. Przy pomocy zwężenia zakresu widocznych wartości maksymalnych i minimalnych obraz wyników został pozbawiony skrajnie wysokich i niskich wartości, które związane były z współczesnymi odpadkami metalowymi.

Badania geologiczne i analiza litologiczna

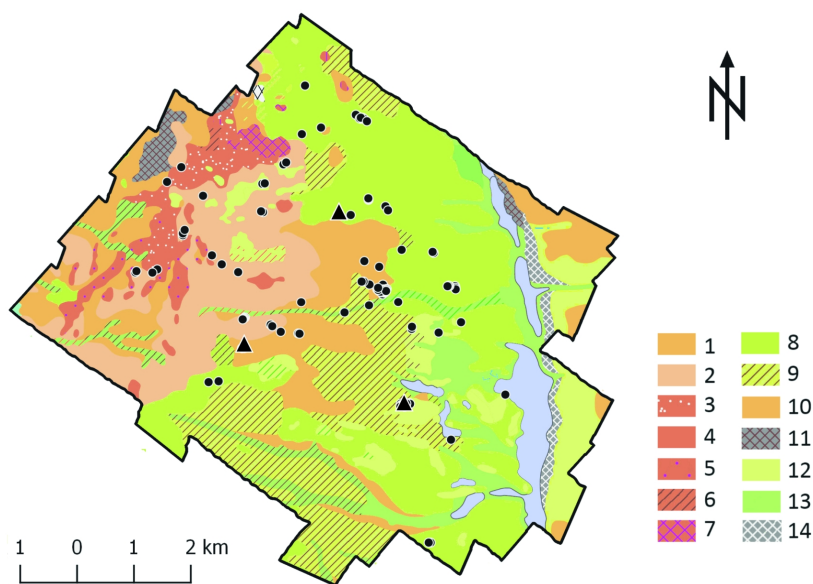
Celem wierceń geologicznych było rozpoznanie stratygraficzne nasypów kurhanów przy jak najmniejszej inwazyjności prowadzonych badań. Odwierty wykonano świdrem okienkowym o średnicy 10 cm i długości próbника 25 cm. Miejsce wykonania odwiertu było uzależnione od wyników badań magnetometrycznych, wskazujących maksymalny zasięg form antropogenicznych. Lokalizacja jednego z zazwyczaj trzech odwiertów znajdowała się w miejscu o podwyższonej magnetyczności lub występowania anomalii dwu lub jednopolowych. Linię odwiertów rozplanowano wzdłuż jednego cięcia profilowego. Natomiast gęstość odwiertów uzależniona była w odniesieniu do rozkładu anomalii, które weryfikowano na podstawie badań magnetometrycznych. Głębokość wierceń w założeniu ustalono do poziomu calca. Jako poziom calca przyjęto rzędną odpowiadającą wysokości bezwzględnej obszaru w otoczeniu kurhanu. Niemniej w niektórych wypadkach prace musiały być zakończone na

wyższych poziomach z powodu występowania nagromadzeń kamieni. Ponadto w celu kontekstualnego ujęcia budowy wewnętrznej kurhanów dodatkowo każdorazowo wykonywano odwiert w strefie najbliższego sąsiedztwa kurhanu, w strefie znajdującej się potencjalnie poza zasięgiem przekształceń terenu związanych z budową kurhanu.

W sumie zbadano 25 kurhanów, czyli około 22% zweryfikowanych na podstawie prospekcji magnetycznej. Wykonano około 80 odwiertów o głębokości od 0,5 do 3 metrów. Pobór próbek uzależniony był od zmienności litologicznej. Przy jej braku pobierano 1 próbkę z 25 cm. W sytuacji

większej zmienności litologicznej zagęszczano opróbkowanie.

Drugim kryterium służącym optymalnemu wytypowaniu kurhanów do wierceń było zróżnicowanie litologiczne utworów powierzchniowych. Oceniono je na podstawie Szczegółowej mapy geologicznej Polski, arkuszy: Milicz (Cincio 1994), Krotoszyn (Błaszczyk 1993), Odolanów (Chachaj 1994) (rys. 7). Do badań typowano kurhany występujące na zróżnicowanym litologicznie podłożu w celu stwierdzenia, czy uziarnienie nasypów kurhanu jest podobne do osadów podłoża, czy wynika z selekcji materiału w czasie ich budowy.



Rys. 7. Lokalizacja kurhanów na mapie geologicznej utworów powierzchniowych w północno-wschodniej części Wału Krotoszyńskiego (za Błaszczykiem 1993; Cincio 1994; Chachaj 1994)

1 – glina zwałowa, 2 – piaski i żwiry lodowcowe, 3 – piaski i mułki teras kemowych, 4 – piaski i żwiry martwego lodu, 5 – piaski i żwiry ozów, 6 – piaski i mułki teras kemowych na glinach zwałowych, 7 – piaski, żwiry i głazy moren czołowych, 8 – piaski i żwiry wodnolodowcowe, 9 – piaski i mułki na glinach zwałowych, 10 – gliny deluwialne, 11 – piaski i mułki deluwialne, 12 – gliny zwietrzelinowe eluwialne, 13 – namuły i piaski den dolinnych, 14 – torfy na piaskach i namułach den dolinnych

Location of mounds on the geological map of surface sediments in the north-east part of the Krotoszyn Ridge (after Błaszczyk 1993; Cincio 1994; Chachaj 1994)

1 – glacial till, 2 – glacial sands and gravels, 3 – sands and silts of kame terraces, 4 – dead ice sands and gravels, 5 – sands and gravels of eskers, 6 – sands and silts of kame terraces on glacial tills, 7 – sands, gravels and boulders of terminal moraines, 8 – fluvioglacial sands and gravels, 9 – sands and silts on glacial tills, 10 – deluvial tills, 11 – deluvial sands and silts, 12 – eluvial waste tills, 13 – silts and sands of valley basins, 14 – peats on sands and silts of valley basins

Uziarnienie osadów określono na podstawie metody sitowej dla frakcji powyżej 2000 mikrometrów (2,0 mm) oraz laserowej po uprzednim wysuszeniu ich w temperaturze 105°C. Analizy laserowe przeprowadzono z wykorzystaniem urządzenia Mastersizer 2000 z przystawką wodną. Zakres średnicy ziaren mierzonych przez analizator mieści się w przedziale od 0,02 μm do 2000 μm (0,00002–2 mm) (Bartmiński i in. 2011).

Analiza statystyczna i graficzna danych, pozwalająca na określenie najważniejszych cech uziarnienia została wykonana metodą kombinowaną, uwzględniającą wyniki analiz sitowych i laserowych, w programie Gradistat 5.11 (Blott, Pye 2001 w modyfikacji Juśkiewicza). Gradistat udostępnia m.in. wyniki podstawowych parametrów uziarnienia: średnią średnicę ziarna, odchylenie standardowe, skośność oraz kurtozę obliczone metodą Folka i Warda (1957) oraz umożliwia

graficzną prezentację rozkładu uziarnienia osadów.

Analiza podatności magnetycznej

Celem analizy podatności magnetycznej była weryfikacja, czy i w jaki sposób pionowa zmienność litologiczna w profilach osadów znajduje odzwierciedlenie w wynikach ich podatności magnetycznej, a następnie porównanie wyników z obrazem geomagnetycznym badanych kurhanów, aby sprawdzić czy podwyższona wartość wskaźników geomagnetycznych, może wynikać z podatności magnetycznej osadów, czy też z innych przyczyn, np. z obecności wieńca kamiennego lub nagromadzeń związków żelaza w badanych kurhanach.

Do badań wybrano próbki osadu z wytypowanych kurhanów, dla których wykonane zostały analizy granulometryczne. Podatność magnetyczną mierzono za pomocą magnetometru Bartington, typ MS2B, przy zastosowaniu zmiennego pola magnetycznego o niskiej częstotliwości (0.46 kHz) (Dearing 1999). Dla każdej próbki wykonano, a następnie uśredniono, trzy pomiary objętościowej podatności magnetycznej χ ($\times 10^{-5}$ SI).

Datowanie radiowęglowe

Z materiału organicznego (węgle drzewne) pochodzącego z odwiertów geologicznych, na kurhanie 120, uzyskano datę radiowęglową 170 ± 30 lat BP (Poz-92749). Pomiar, przy użyciu akceleratora AMS, wykonano w Poznańskim Laboratorium Radiowęglowym. Do kalibracji dat wykorzystano program Oxcal v. 4.3.2. (Bronk Ramsey 2017). Odwiert (K120/II) zlokalizowany był w centralnej części nasypu, natomiast próbka pochodzi z głębokości około 20 cm poniżej powierzchni.

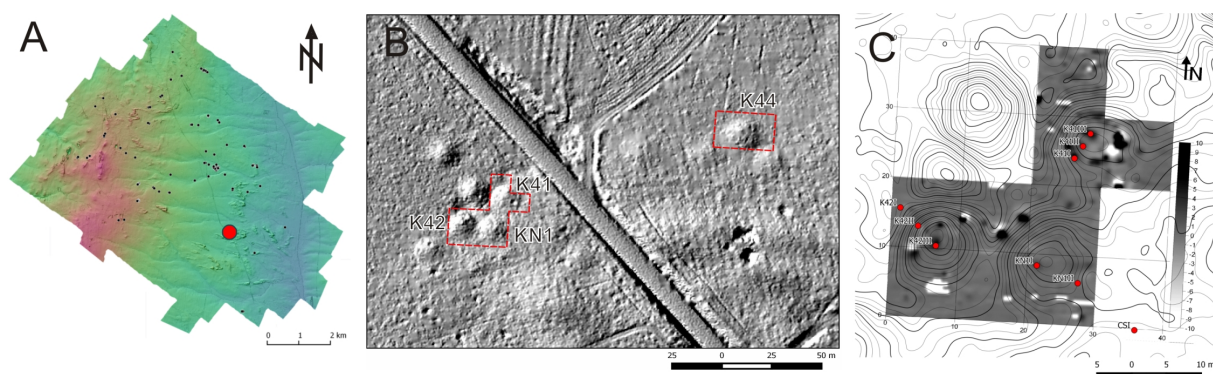
Wyniki i dyskusja

W artykule przedstawiono wyniki badań obejmujące zgrupowania kurhanów zlokalizowane na południe, północ oraz zachód od centralnego cmentarzyska w Smoszewie, posiadającego najdłuższą historię badań. Z trzech cmentarzysk kurhanowych wybrano do omówienia przykłady kurhanów odróżniających się litologią podłoża, na którym je zbudowano. W przypadku cmentarzyska południowego są to kurhany 41 i 42 zbudowane głównie z osadów piaszczystych, z części

zachodniej wytypowano kurhan 120 zbudowany na podłożu gliniastym i 116 wzniesiony na piaskach glacialnych, a z części północnej dwa odosobnione kurhany 82 i 83 o nasypach gliniastych (rys. 7).

Pierwszy z badanych kurhanów o numerze 42 położony jest na obszarze równiny sandrowej sąsiadującej z połogimi, wschodnimi stokami Wału Krotoszyńskiego. Wraz z kurhanami 41 i KN1 tworzą jedną grupę kurhanową. Po drugiej stronie kanału – Czarnego Potoku znajduje się kurhan 44 (rys. 8). Dokonując charakterystyki morfometrycznej badanych kurhanów, stwierdzono, że kurhany 41 i 42 mają nasypy kształtu stożkowatego o podstawie okrągłej. W przypadku kopca 41 jego średnica wynosi około 16,5 m, a wysokość około 0,9 m. Kopiec jest bardzo dobrze widoczny w terenie, porośnięty tylko drobną roślinnością. Do śladów zniszczeń można zaliczyć drobne wykroty drzewne. Na powierzchni nasypu odkryto pojedyncze kamienie zlokalizowane na obrysie kurhanu. Średnica nasypu kurhanu 42 mierzy około 16 m, natomiast wysokość wynosi 1,1 m. Nasypu nie przykrywa gęsta roślinność, przez co jest dobrze widoczny w terenie. Podczas badań zarejestrowano występowanie płytkich wykrotów po drzewach.

W kurhanie 42 najwyższe wartości anomalii magnetycznych odnotowano w centralnej części kurhanu (rys. 8). Liniję profilową, na której wykonano odwierty wyznaczono z uwzględnieniem wspomnianego punktu. Z wyników prospekcji magnetycznej tej części stanowiska wynika, że rozkład anomalii magnetycznych ma charakter punktowy i nie wykazuje wyraźnych prawidłowości w rozmieszczeniu przestrzennym. Zagęszczone występowanie anomalii magnetycznych odnotowano w strefach centralnych, ale również w strefach brzegowych nasypów kurhanów. Analizując rozmieszczenie anomalii magnetycznych w obrębie kurhanu 41, zauważyć można ich koncentrację w jego strefie zewnętrznej, co może sugerować występowanie w nasypie wieńca kamiennego (rys. 8). Warto zaznaczyć, że dwubiegunowe anomalie mogą być związane z występowaniem gładów narzutowych, które charakteryzują się wysoką zawartością minerałów ferromagnetycznych. W związku z tym obraz magnetometryczny może odzwierciedlać jedynie częściowo wieńec kamienny, nie wskazując przy tym położenia gładów pozbawionych właściwości magnetycznych (Garrison 2016).



Rys. 8. Lokalizacja południowej grupy kurhanów w Lesie Krotoszyn obejmującej kurhany 41 i 42 na tle numerycznego modelu terenu (A) oraz mapie cieniowanej rzeźby terenu (B) oraz wyniki prospekcji magnetycznej (C) w otoczeniu kurhanu 41, 42, KN1

punkty na rys. C oznaczają lokalizację odwiertów geologicznych

Location of a southern complex of tumulus in Krotoszyn Forest including barrow mounds 41 and 42 against the digital elevation model (A) and shadow relief map (B) and results of magnetometric prospection (C) in the surroundings of barrow mounds 41, 42, KN1

circles in the part C indicate the location of geological boreholes

Jak wynika z badań magnetometrycznych przeprowadzonych w Lesie Krotoszyn oraz literatury, możliwych jest kilka czynników decydujących o wyróżnianiu się pewnych stref od słabo magnetycznego podłoża. Jednym z nich jest obecność głazów użytych do budowy kurhanów. Stwierdzono, że niektóre z nich budują minerały o wysokiej podatności magnetycznej (Czebreszuk i in. 2013; Garrison 2016). Innym źródłem sygnału magnetycznego są miejsca, które poddane były działaniu wysokiej temperatury lub charakteryzują się nagromadzeniem obumarłej materii organicznej (Gaffney 2008; Aspinall i in. 2008; Fassbinder 2015). W przypadku cmentarzyska w Smoszewie badania wykopaliskowe kurhanu 15 umożliwiły korelację badań magnetometrycznych z rezultatami badań wykopaliskowych i pozwoliły na powiązanie wysokich wskaźników magnetyczności z występowaniem wieńców kamiennych i jądra kamiennego kurhanu, jam grobowych, dołków posłupowych, ceramiki, węgielków drzewnych (Kneisel i in. 2010; Czebreszuk i in. 2013).

Ze względu na zalesienie obszaru i ograniczenia w zastosowaniu metod inwazyjnych, w związku z polityką konserwatorską, weryfikacja wyników prospekcji magnetycznej odbywała się poprzez wiercenia geologiczne. W nasypie kurhanu 41 wykonano trzy odwierty osiągające głębokość odpowiednio 85 cm, 130 cm i 25 cm (rys. 9). W przypadku odwiertu 41/I i 41/2 wiercenia przerwano z powodu obecności materiału kamiennego. Ponad poziomem kamieni najczęściej odnotowywano obecność wytrącen żelazistych. Wszyst-

kie próbki pobrane z opisywanego kurhanu reprezentują osady piaszczyste, słabo wysortowane, o rozkładzie dodatnio skośnym, leptokurtycznym. Jedynie w próbce II/6 oraz profilu III materiał stanowił piasek drobnoziarnisty. Z wyników analizy uziarnienia nasypu kurhanu wynika, że materiał pobierano z najbliższego otoczenia i stanowiły go piaski fluwiogłacjalne, które wykazywały pewne wewnętrzne zróżnicowanie frakcyjne, wyrażające się m.in. relacją pomiędzy grupami piasków i mułków, o udziale frakcji mułkowej od 4,4% do 12,6% w poszczególnych próbkach, przy braku frakcji ilastej. Na podstawie opisywanych wyników badań można wnioskować, że w kurhanie 41 niewielkie zróżnicowanie uziarnienia nie mogło mieć wpływu na rozkład anomalii magnetycznych. Obserwacje makroskopowe wskazują, że podwyższone wartości wskaźnika magnetyczności mogą wynikać z występowania poziomy kamieni, a przede wszystkim nagromadzeń związków żelaza o właściwościach ferromagnetycznych. Poziomy kamieniste mogły stanowić pewną barierę litologiczną i przyczynić się do wytrącania związków żelaza.

Odwierty wykonane w kurhanie 42 miały głębokość odpowiednio 68 cm, 87 cm i 70 cm (rys. 10). W ostatnim, trzecim odwiercie napotkano kamienie. W porównaniu z kurhanem 41 odnotowano we wszystkich odwiertach piaski drobnoziarniste oraz mułki piaszczyste (I/2). W niektórych próbkach frakcja ilasta osiągała 5%. Odwiert 42/I zlokalizowany poza kurhanem świadczy o występującym tam bardziej pylastym pod-

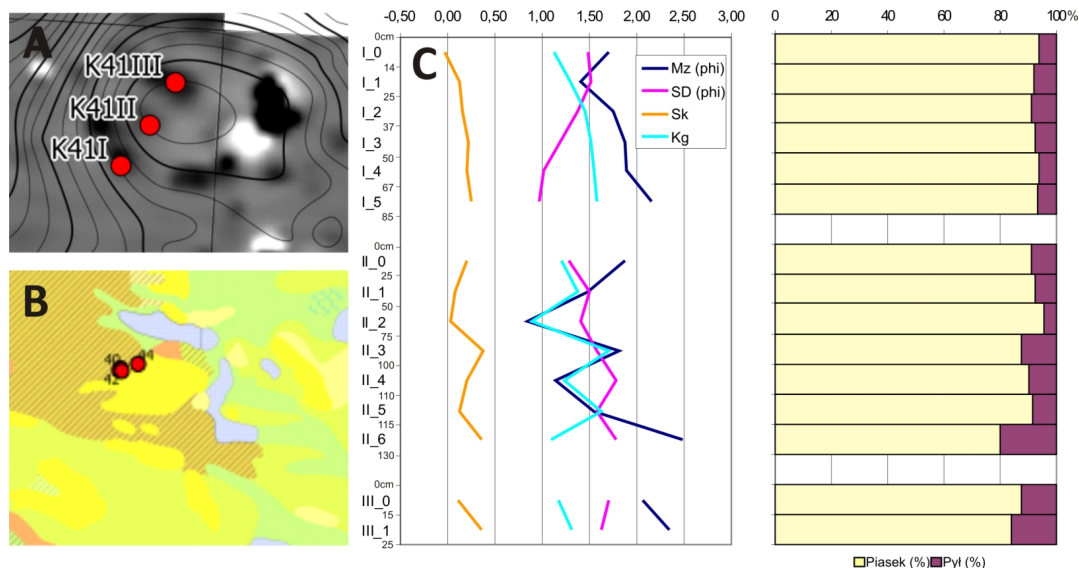
łożu, natomiast nasyp (odwierty 42/II i 42/III) zbudowany jest z materiału bardziej piaszczystego. W klasyfikacji gleboznawczej (PTG 2008) osady w odwiercie I zaklasyfikować można jako glinę piaszczystą, natomiast nasyp zbudowany jest z piasków gliniastych. Może to świadczyć o pewnej selekcji materiału do budowy nasypu w przypadku podłoża gliniastego i wykorzystywaniu w tym celu bardziej piaszczystego budulca, który w postaci płatów piaszczystych występuje w bezpośrednim sąsiedztwie kurhanu.

W zachodniej części cmentarzyska do badań litologicznych wybrano dwa kurhany 116 i 120 (rys. 7). Kurhan 116 ma kształt bardzo silnie spłaszczonego stożka o okrągłym zarysie. Średnica kopca wynosi około 11 m, a wysokość około 0,3 m. Na powierzchni nasypu występują liczne wykroty drzewne. Kurhan 120 charakteryzuje spłaszczony, stożkowaty kształt nasypu, o okrągłym planie płaskim. Średnica kopca ma około 10 m, a wysokość około 0,6 m. W centrum zarejestrowano niewielki wykrot drzewny.

Na zobrazowaniach wyników magnetometrycznych zaobserwowano podwyższone wartości gradientu magnetycznego w południowo-wscho-

dniej części kurhanu 116 oraz na znacznej powierzchni kurhanu 120, szczególnie w strefie zewnętrznej kopca (rys. 11). W obrębie kurhanu 116 wykonano dwa odwierty w strefach o największym zróżnicowaniu anomalii magnetycznych do głębokości 120 cm, natomiast w kurhanie 120 na linii profilowej wykonano 4 odwierty, jeden z nich (120/I) obejmował obszar poza kurhanem (rys. 11).

Wyniki badań litologicznych kurhanu 116 wskazują, że obydwa profile zbudowane są z osadów piaszczystych. Tekstura odpowiada piaskom drobnoziarnistym lub piaskom pylastym. Osady są źle lub umiarkowanie wysortowane, o rozkładach symetrycznych lub dodatnio skośnych, mezo- lub leptokurtycznych. Rezultaty uziarnienia osadów pobranych z nasypu kurhanu wskazują na cechy pierwotnego środowiska depozycyjnego – piasków glacialnych akumulowanych w środowisku wodnym (rys. 12). W drugim profilu można zaobserwować nieco większe domieszki frakcji pylastej, dochodzące nawet do 10%. W badanym kurhanie osady pod nasypem kurhanu nie różnią się od osadów rozpoznanych w nasypie.

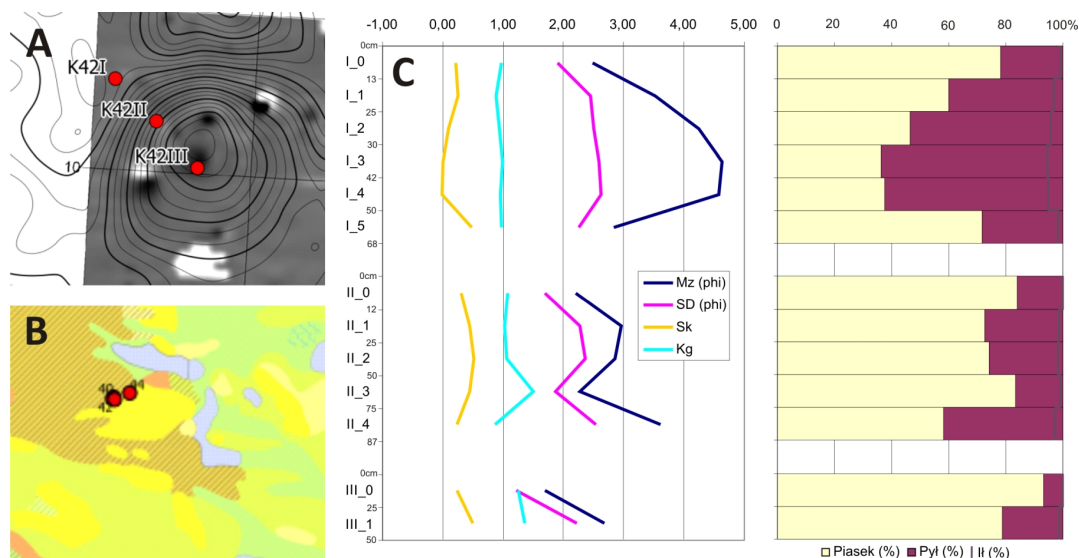


Rys. 9. Kurhan nr 41

A – lokalizacja odwiertów geologicznych na tle wyników prospekcji magnetometrycznej, B – lokalizacja kurhanu na tle mapy utworów powierzchniowych (legenda wg rys. 7), C – podstawowe parametry uziarnienia w próbkach osadów pochodzących z wierceń oraz struktura uziarnienia w podziale na podstawowe grupy granulometryczne

Barrow mound No. 41

A – location of geological drillings against magnetometric prospecting, B – location of the mound on the map of surface deposits (legend according to Fig. 7), C – basic grain parameters in the samples of sediments from drilling and grain structure by basic granulometrical groups

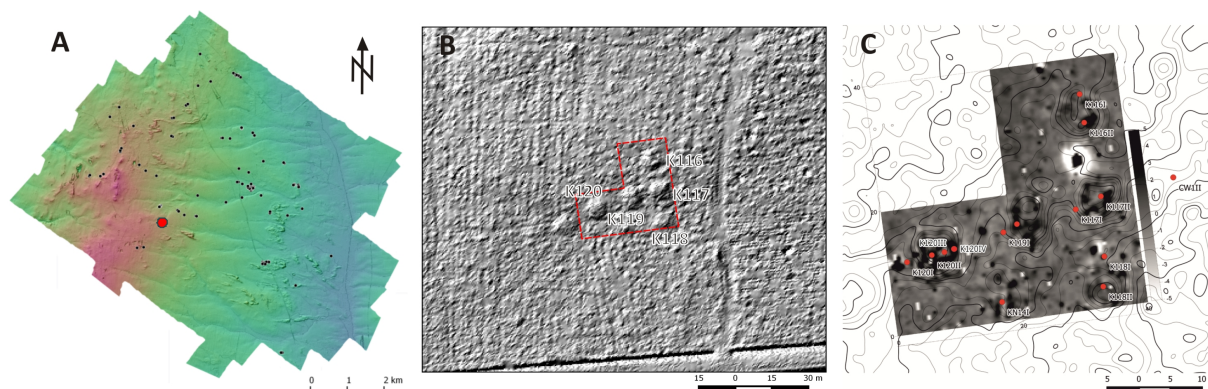


Rys. 10. Kurhan nr 42

A – lokalizacja odwiertów geologicznych na tle wyników prospekcji magnetometrycznej, B – lokalizacja kurhanu na tle mapy utworów powierzchniowych (legenda wg rys. 7), C – podstawowe parametry uziarnienia w próbkach osadów pochodzących z wierzeń oraz struktura uziarnienia w podziale na podstawowe grupy granulometryczne

Barrow mound No. 42

A – location of geological drillings against magnetometric prospection, B – location of the mound on the map of surface deposits (legend according to Fig. 7), C – basic grain parameters in the samples of sediments from drilling and grain structure by basic granulometrical groups

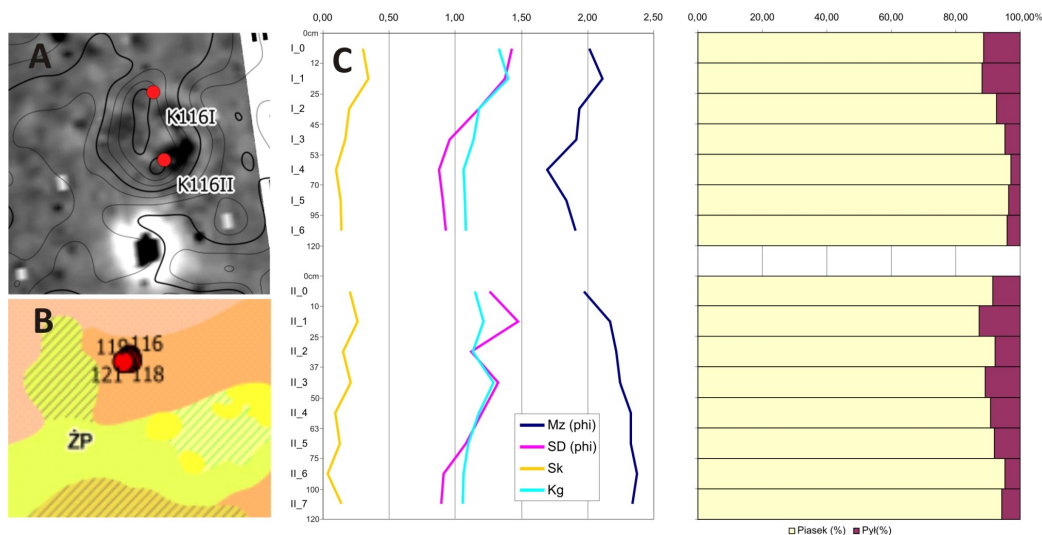


Rys. 11. Lokalizacja kurhanów na cmentarzysku zachodnim w Lesie Krotoszyn obejmującej kurhany 116 i 120 na tle numerycznego modelu terenu (A) oraz mapie cieniowanej rzeźby terenu reliefu (B) oraz wyniki prospekcji magnetometrycznej w otoczeniu kurhanów 116, 117, 118, 119, 120 (C)

punkty na rys. C oznaczają lokalizację odwiertów geologicznych

Location of a western complex of tumulus in Krotoszyn Forest including barrow mounds 116 and 120 against the digital elevation model (A) and shadow relief map (B), and results of magnetometric prospection in the surroundings of barrow mounds 116, 117, 118, 119, 120 (C)

circles in the part C indicate the location of geological boreholes



Rys. 12. Kurhan nr 116

A – lokalizacja odwiertów geologicznych na tle wyników prospekcji magnetometrycznej, B – lokalizacja kurhanu na tle mapy utworów powierzchniowych (legenda wg rys. 7), C – podstawowe parametry uziarnienia w próbkach osadów pochodzących z wierzeń oraz struktura uziarnienia w podziale na podstawowe grupy granulometryczne

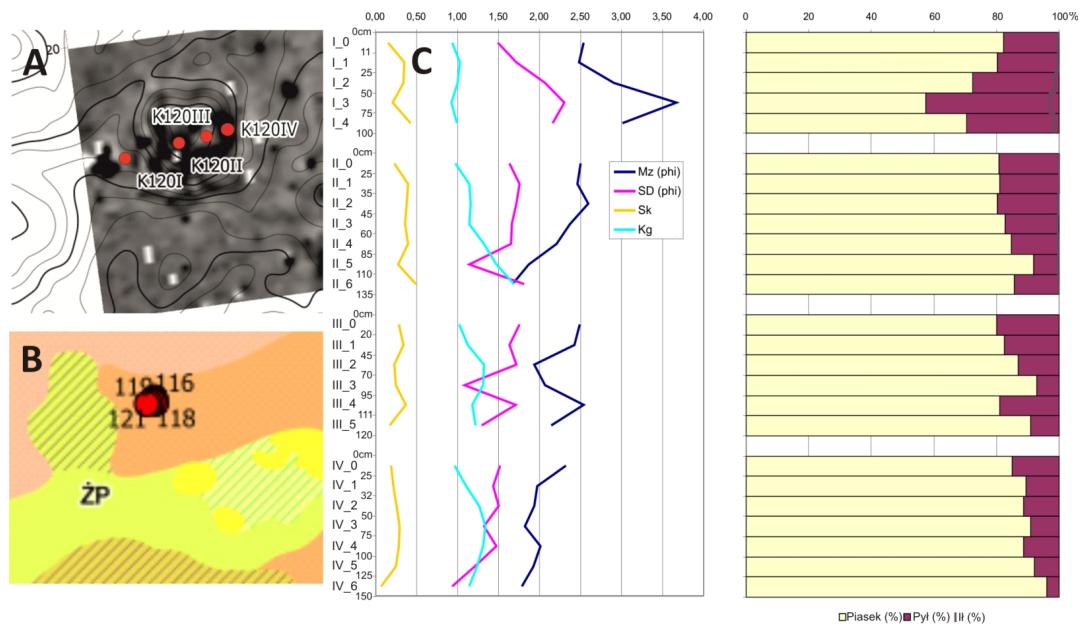
Barrow mound No. 116

A – location of geological drillings against magnetometric prospection, B – location of the mound on the map of surface deposits (legend according to Fig. 7), C – basic grain parameters in the samples of sediments from drilling and grain structure by basic granulometrical groups

W kurhanie 120 odwierty osiągnęły głębokość 100, 135, 120 i 150 cm (rys. 13). Do głębokości 0–35 cm zaobserwowano w odwiertach bardzo ciemną warstwę próchniczą z dużą ilością węgla drzewnych. Pod nimi wystąpiły piaski żółte lub jasnobrązowe, w poziomie wmywania zawierające wytrącenia żelaziste. Opisywaną stratygrafię potwierdzają wyniki analiz litologicznych charakteryzujące próbki z wierzeń geologicznych jako piaski, piaski mułkowe słabo wysortowane, bardzo dodatnio skośne, leptokurtyczne. W profilu wystąpiły przewarstwienia mułków piaszczystych, gdzie zawartość frakcji pylastej przekroczyła 40%, przy ogólnie większym udziale frakcji pylastych spośród do tej pory omawianych rdzeni (na poziomie około 20%). Doszukując się przyczyn tak znacznych anomalii magnetycznych w obrębie kurhanu 120, ale również pobliskich kurhanów, np. 119 i 117, należy wziąć pod uwagę dwie przyczyny. Pierwsza to poziom pożarowy zapisany w stropie profilu, w warstwie próchniczej obecnością węgla drzewnych (Le Borgne 1955, 1960). Ich datowanie (rys. 14) wskazało, że pożar tej części należy umiejscowić w XVIII wieku (1750–1800 AD). Jak już zaznaczono wcześniej warstwy spaleniskowe wpływają na podniesienie gradientu magnetycznego (Gaffney 2008; Aspinall i in. 2008). Potwierdzają to wyniki podatności magnetycznej, które pokazują, że w kurhanach z opisywanej grupy kurhanowej odnotowano bezwzględnie największe wartości podat-

ności magnetycznej (65–75 $\chi \cdot 10^{-5} \text{SI}$), porównując je z wynikami innych kurhanów (5–15 $\chi \cdot 10^{-5} \text{SI}$) oraz to, że wartości te skupiają się przede wszystkim w próbkach przypowierzchniowych zawierających materię organiczną oraz węgle drzewne (rys. 15). Jednak i w próbkach poniżej warstwy próchniczej w kurhanach 120 i 119, w mniejszym stopniu 117, odnotowano wyższe wartości podatności magnetycznej, na tle innych kurhanów. Ich źródłem może być migracja składników organicznych w profilu glebowym oraz wytrącenia związków żelaza w poziomie glebowym.

Ostatnie wytypowane do badań weryfikacyjnych kurhany 82 i 83 położone są około 1,5 km na północ od głównego cmentarzyska w Smoszewie. Zlokalizowano je w strefie wododziałowej dopływów Czarnej Wody, które rozcinają wschodnie stoki Wału Krotoszyńskiego (rys. 16). Kurhan 82 posiada nasyp w kształcie regularnego stożka o okrągłym obrysie. Średnica nasypu wynosi około 20 m, a wysokość w przybliżeniu 1,5 m. Nie zauważono na nim jednoznacznych śladów zniszczeń. Kurhan 83 ma stożkowaty kształt nasypu, o owalnej podstawie. Długość kopca wynosi około 21 m, natomiast szerokość blisko 18 m. Wysokość kurhanu sięga 1,1 m. W obrębie nasypu nie zarejestrowano wyraźnych śladów zniszczeń, niemniej w części południowo-zachodniej występowało kilka kamieni wewnątrz bardzo płytkiego i niewielkiego obniżenia.

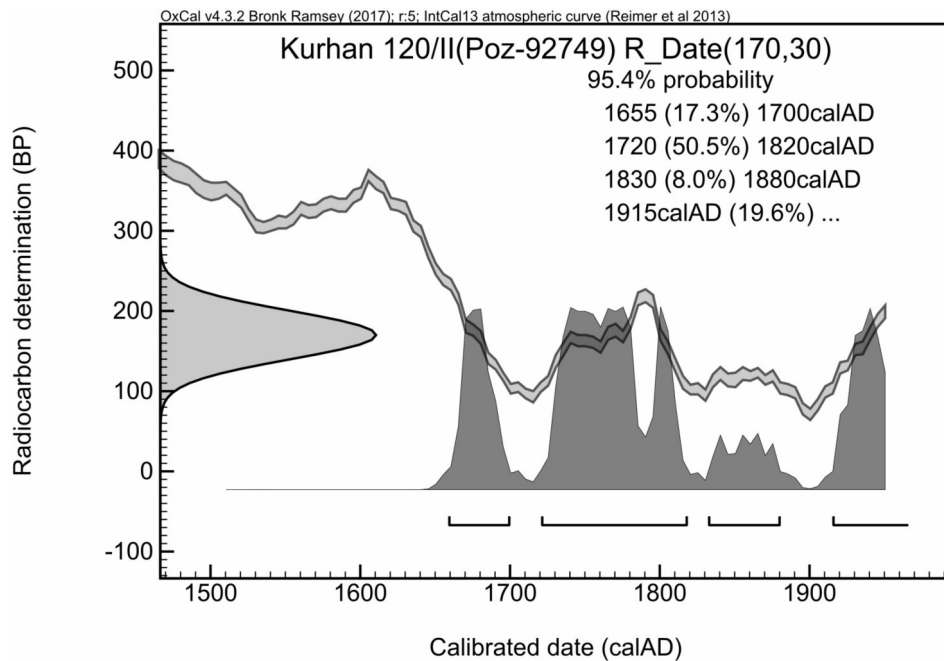


Rys. 13. Kurhan nr 120

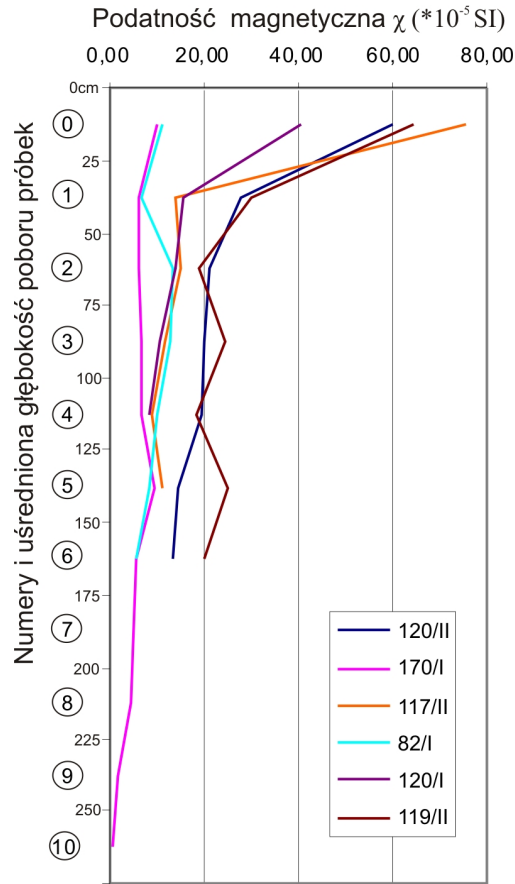
A – lokalizacja odwiertów geologicznych na tle wyników prospekcji magnetometrycznej, B – lokalizacja kurhanu na tle mapy utworów powierzchniowych (legenda wg rys. 7), C – podstawowe parametry uziarnienia w próbkach osadów pochodzących z wierceń oraz struktura uziarnienia w podziale na podstawowe grupy granulometryczne

Barrow mound No.120

A – location of geological drillings against magnetometric prospection, B – location of the mound on the map of surface deposits (legend according to Fig. 7), C – basic grain parameters in the samples of sediments from drilling and grain structure by basic granulometrical groups

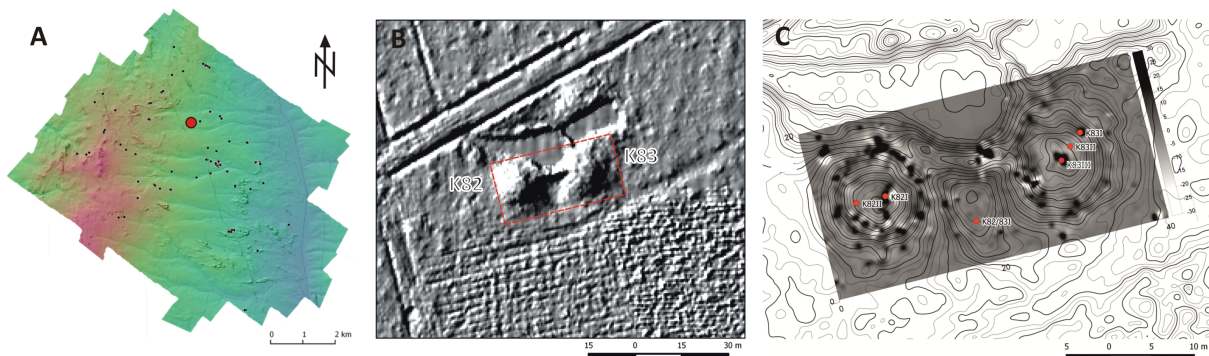


Rys. 14. Kalibracja daty radiowęglowej z warstwy pożarowej z kurhanu 120
 Calibration of the radiocarbon date from the burial layer of barrow mound 120



Rys. 15. Wyniki podatności magnetycznej na cmentarzyskach kurhanowych dla wybranych profili ze strefy objętej pożarem – 120/I, 120/II, 119/II, 117/II i poza strefą pożarową – 170/I, 82/I

Magnetometric susceptibility analysis of samples from the barrows for selected profiles with abundance of burnt material (no. 120/I, 120/II, 119/II and 117/II) and those without the traces of fire activity (170/I, 82/I)



Rys. 16. Lokalizacja kurhanów na cmentarzysku północnym w Lesie Krotoszyn obejmującej kurhany 82 i 83 na tle numerycznego modelu terenu (A) oraz mapie cieniowanego reliefu (B) oraz wyniki prospekcji magnetometrycznej w otoczeniu kurhanów 82 i 83 (C)

punkty na rys. C oznaczają lokalizację odwiertów geologicznych

Location of a north complex of tumulus in Krotoszyn Forest including barrow mounds 116 and 120 against the digital elevation model (A) and shadow relief map (B) and results of magnetometric prospection in the surroundings of barrow mounds 82 and 83

circles in the part C indicate the location of geological boreholes

W badanych kurhanach zaobserwowano punktowe wzrosty gradientu magnetycznego. Układają się one koncentrycznie w strefach zewnętrznych kurhanów, szczególnie w obrębie kurhanu 82 oraz zachodnim i południowym fragmencie kurhanu 83. Dodatkowo w kurhanie 83, w jego strefie centralnej, znajduje się jednopolowa anomalia o podwyższonym gradiencie o 30 nT. Punktowy charakter anomalii i ich rozmieszczenie przestrzenne pozwala powiązać wzrost magnetyczności z obecnością elementów konstrukcyjnych kurhanu, np. wieńcem kamiennym (kurhany 82 i 83) oraz jądrem kamiennym (kurhan 83) (rys. 16). Na obrazie magnetometrycznym w przypadku kurhanu 82 występowanie anomalii dwu i jednobiegunowych tworzy całościowe odwzorowanie wieńca kamiennego, podobnego do zarejestrowanego w kurhanie 15 oraz na wcześniej badanych, w ramach głównego cmentarzyska w Smoszewie (Kostrzewski 1924; Kneisel i in. 2010; Stróżyk 2015). Rozpatrując podobne anomalie występujące na obrzeżu kurhanu 83, należy zwrócić uwagę na wyraźną dyskontynuację wieńca w części zachodniej obwodu. Luka w obrazie magnetometrycznym może być spowodowana faktycznym brakiem wieńca w tej części w wyniku, np. procesów podepozycyjnych (np. rabunków) lub też brakiem skał o właściwościach ferromagnetycznych.

Taką interpretację potwierdziły odwierty wykonane w obrębie badanych kurhanów. We wszystkich odwiertach na głębokościach od 50 do 80 cm stwierdzono obecność kamieni, które uniemożliwiły ich kontynuowanie. Z kolei wyniki uziarnienia badanych osadów wskazują na znaczne udziały frakcji pylastych dochodzących do 40%, co pozwala zaliczyć substrat badanych kopców do piasku gliniastego według klasyfikacji gleboznawczej lub do gliny piaszczystej, gdy udział pyłów przekracza 50% (rys. 17, 18).

Można zatem przypuszczać, że materiał glazowy wykorzystany w budowie kurhanów mógł być składnikiem gliny zwałowej, która znajdowała się w podłożu i bliskim otoczeniu badanych kurhanów.

Wnioski

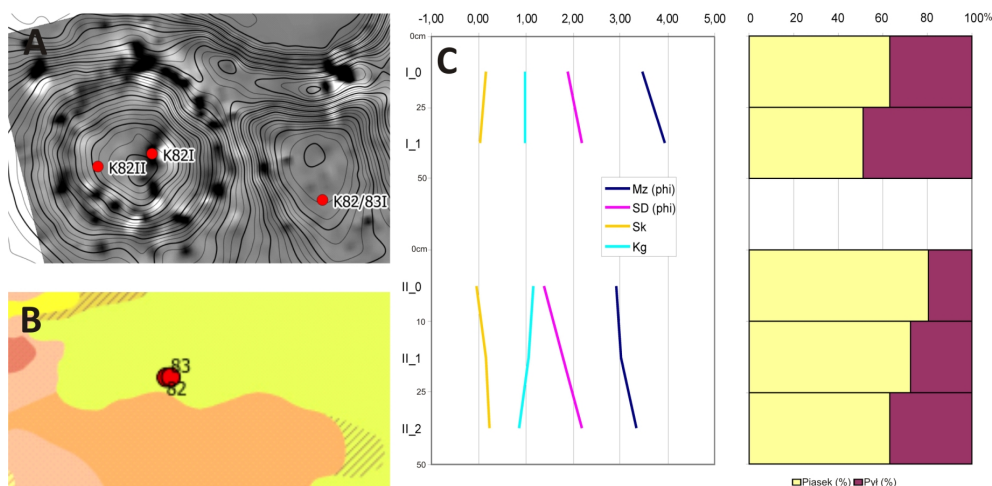
Kurhany kultury mogiłowej z epoki brązu położone na Wale Krotoszyńskim zawdzięczają dobry stan zachowania nieprzerwanemu zalesieniu tego obszaru co najmniej od średniowiecza do czasów współczesnych. W Dąbrowie Krotoszyńskiej najstarsze dęby mają 150 lat, w niektórych przypadkach nawet 225 lat.

Najlepszym sposobem detekcji kurhanów na obszarze zalesionym okazał się lotniczy skaning laserowy, który pozwolił na zarejestrowanie 176 obiektów, z czego 118 po weryfikacji terenowej zaklasyfikowano jako kurhany.

Do budowy kurhanów wykorzystywano materiał piaszczysty od jednorodnych litologicznie piasków po piasek pylasty i glinę piaszczystą. Z badań litologicznych wynika, że udział materiału piaszczystego w nasypach kurhanów, był wyższy niż w osadach podłoża, co oznacza, że dokonywano pewnej selekcji materiału, wybierając materiał o większym udziale frakcji piaszczystej. Było to możliwe, gdyż obszar badań charakteryzuje się mozaikowym rozmieszczeniem osadów polodowcowych, a w wielu sytuacjach kurhany lokowane są na pograniczu stref o odrębnej litologii. Zasadę tę szczególnie potwierdzają wyniki badań kurhanu 42, gdzie podłoże buduje glina piaszczysta, a nasyp tworzą piaski gliniaste. Nie można wykluczyć również udziału czynnika naturalnego w postaci wywiewania frakcji pylastej z odkrytych powierzchni na etapie budowy kurhanów.

Przeprowadzone wiercenia geologiczne, ich opis makroskopowy oraz wykonane na ich podstawie analizy litologiczne, wskazały, że źródłem podwyższonej magnetyczności w badanych kurhanach jest stwierdzony w odwiertach, a występujący w strefach spągowych nasypu, materiał kamienny, który można interpretować jako wieńce kamienniste, a w centralnych częściach kurhanu, jako jądra kamienne. W opisach makroskopowych próbek zauważono, że w osadach występujących nad warstwą bruku kamiennego występują nagromadzenia żelaziste, uformowane w wyniku procesów wmywania zachodzących w profilu glebowym. Prawdopodobnie obecność związków żelaza, a nie tylko sam materiał kamienny odpowiadają za zarejestrowany sygnał magnetyczny. Drugą strefą zwiększonej ilości wytrąceń żelazistych są granice litologiczne piasek/glina piaszczysta i piasek/pył piaszczysty. Również w tym przypadku znaczne ilości związków żelaza mogły zapisać się anomaliami w prospekcji magnetometrycznej. Nie można również wykluczyć, szczególnie wśród skał metamorficznych – przykładów gładów o właściwościach ferromagnetycznych.

Prospekcja magnetometryczna wykazała zróżnicowanie wewnętrzne kurhanów. Koncentracja anomalii magnetycznych była najczęściej związana ze strefą centralną kurhanu lub strefą krawędziową ich nasypów. W przypadku kurhanu 120 znaczna część powierzchni nasypu wykazywała podwyższone wskaźniki magnetyczności.

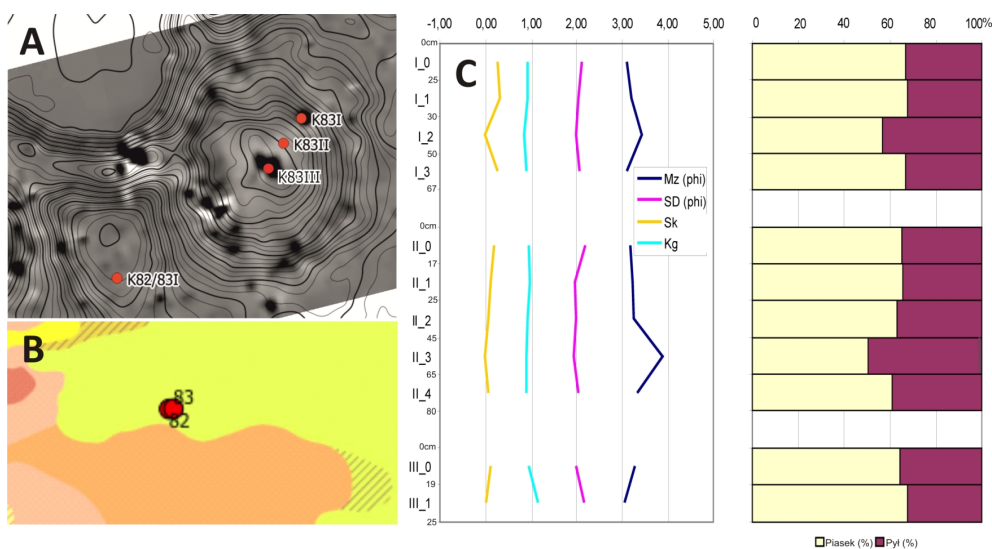


Rys. 17. Kurhan nr 82

A – lokalizacja odwiertów geologicznych na tle wyników prospekcji magnetometrycznej, B – lokalizacja kurhanu na tle mapy utworów powierzchniowych (legenda wg rys. 7), C – podstawowe parametry uziarnienia w próbkach osadów pochodzących z wierceń oraz struktura uziarnienia w podziale na podstawowe grupy granulometryczne

Barrow mound No. 82

A – location of geological drillings against magnetometric prospection, B – location of the mound on the map of surface deposits (legend according to Fig. 7), C – basic grain parameters in the samples of sediments from drilling and grain structure by basic granulometrical groups



Rys. 18. Kurhan nr 83

A – lokalizacja odwiertów geologicznych na tle wyników prospekcji magnetometrycznej, B – lokalizacja kurhanu na tle mapy utworów powierzchniowych (legenda wg rys. 7), C – podstawowe parametry uziarnienia w próbkach osadów pochodzących z wierceń oraz struktura uziarnienia w podziale na podstawowe grupy granulometryczne

Barrow mound No. 83

A – location of geological drillings against magnetometric prospection, B – location of the mound on the map of surface deposits (legend according to Fig. 7), C – basic grain parameters in the samples of sediments from drilling and grain structure by basic granulometrical groups

Poprzez badania udało się zidentyfikować jeszcze jedno źródło podwyższonych wskaźników gradientu magnetycznego. Jest to osiemnastowieczna warstwa pożarowa obejmująca m.in. badane kurhany 120 i 116, w których zaobserwowano najbardziej rozległe przestrzennie obszary anomalii magnetycznych, wynikające z oddziaływania wysokiej temperatury na osady. Wyniki te potwierdziły badania pionowej zmienności podatności magnetycznej wskazujące na wyróżnianie się grupy kurhanów ze strefy pożarowej największymi wartościami podatności magnetycznej w powierzchniowej warstwie osadów.

Uzyskane w opracowaniu wyniki badań stanowią kolejny krok w podnoszeniu roli diagnostycznej metod nieinwazyjnych w badaniach archeologicznych. Dowodzą, że umiejętne ich stosowanie pozwala zachować badane stanowiska archeologiczne dla następnych pokoleń, nie niszcząc ich struktury wewnętrznej, a uzyskując informacje o budowie nasypu kurhanu i głównych elementach konstrukcyjnych. W dalszych badaniach litologiczno-geochemicznych kurhanów wskazane byłoby oznaczenie zawartości żelaza w profilu pionowym, gdyż jak dowodzą przeprowadzone badania jego obecność w osadach wpływa na obraz rozkładu anomalii magnetycznych w obrębie cmentarzyska kurhanowego.

Podziękowania

Artykuł powstał w wyniku realizacji projektu badawczego o nr 2013/09/N/HS3/02917 finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki. Autorzy artykułu składają podziękowania recenzentom za wnikliwą recenzję i cenne uwagi oraz komentarze do wcześniejszej wersji artykułu.

Literatura

- Aspinall A., Gaffney C., Schmidt A. 2008. Magnetometry for archaeologists. Walnut Creek (CA), Alta Mira.
- Banaszek Ł. 2014. Lotniczy Skaning Laserowy. Czy w pełni wykorzystywany jest potencjał prospekcyjny metody? *Folia Praehistorica Posnaniensia* 19: 207-251.
- Bartmiński P., Krusińska A., Bieganowski A., Ryżak M. 2011. Przygotowanie próbek glebowych do pomiaru składu granulometrycznego gleb metodą dyfrakcji laserowej. *Roczniki Gleboznawcze* 62(2): 9-15.
- Blott S.J., Pye K. 2001. Gradistat: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26: 1237-1248. <http://dx.doi.org/10.1002/esp.261>
- Błaszczak J. 1993. Szczegółowa mapa geologiczna Polski w 1:50 000, arkusz Krotoszyn. PIG, Warszawa.
- Bronk Ramsey C. 2017. Methods for Summarizing Radiocarbon Datasets. *Radiocarbon* 59(2): 1809-1833.
- Butent R. 1992. Zagadnienie kurhanów w Niedarach i Ludgierzowicach, gm. Trzebnica, woj. Wrocław. *Studia Archeologiczne* 22: 35-83.
- Chachaj J. 1994. Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, arkusz Odolanów. PIG, Warszawa.
- Cincio Z. 1994. Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, arkusz Milicz. PIG, Warszawa.
- Cwaliński M., Niebieszczanski J. 2012. The Tumulus Culture Burial Mounds In Southwestern Poland. Construction of the Barrows and their Place in the Landscape. W: Kneisel J. (red.) *Collapse or Continuity? Environment and Development of Bronze Age Human Landscapes*. Universitätsforschungen zur Prähistorischen Archäologie 205, Bonn: 235-256.
- Cwaliński M., Niebieszczanski J. 2013. Kurhanowy obrządek pogrzebowy kultury mogiłowej na terenach południowo-zachodniej Polski. Konstrukcja kurhanów i ich położenie w krajobrazie. *Fontes Archaeologici Posnanienses* 49: 107-144.
- Czebreszuk J., Jaeger M., Niebieszczanski J., Pospieszny Ł., Cwaliński M., Stróżyk M. 2017. Model non-invasive research in forested areas - The Krotoszyn Forest. From the studies on the transformation of cultural landscape in prehistory of Greater Poland. W: W. Irlinger, G. Suhr (red.) *Archaeological Sites in Forests, Strategies and Protection*. Schriftenreihe (Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege), Volk Verlag, München: 66-75.
- Czebreszuk J., Jaeger M., Pospieszny Ł., Cwaliński M., Niebieszczanski J. 2013. Modelowe badania nieinwazyjne obszarów leśnych – Las Krotoszyn. Z badań nad przemianami krajobrazu kulturowego w pradziejach Wielkopolski. *Fontes Archaeologici Posnanienses* 49: 157-175.
- Dearing J.A. 1999. Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System. Second edition. John Wiley and Sons publication.
- Doneus M., Briese C. 2006. Digital terrain modelling for archaeological interpretation within forested areas using full-waveform laserscanning. Proceedings of the 7th International conference on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage (VAST'06). Eurographics Association, Aire-la-Ville, Switzerland: 155-162.
- Doneus M., Briese C., Fera M., Janner M. 2008. Archaeological prospection of forested areas using full-waveform Airborne Laser Scanning. *Journal of Archaeological Science* 35(4): 882-893.

- Fassbinder J.W.E. 2015. Seeing beneath the farmland, steppe and desert soil: magnetic prospecting and soil magnetism. *Journal of Archaeological Science* 56: 85-95.
- Folk R.L., Ward W.C. 1957. A Study in the Significance of Grain-Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3-26.
- Gaffney C. 2008. Detecting trends in the prediction of the buried past: a review of geophysical techniques in archaeology. *Archaeometry* 50: 313-336.
- Garrison E. 2016. Techniques in Archaeological Geology. Springer Ltd.
- Heise W., Izydorek I., Kujawa-Pawlaczyk J., Pawlaczyk P., Reczyńska K., Wasiak P., Kazimierski J., Gawroński A. 2012. Monitoring gatunków i siedlisk przyrodniczych ze szczególnym uwzględnieniem specjalnych obszarów ochrony siedlisk Natura 2000. 9190 Kwaśne dąbrowy. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Hilczerońska Z. 1967. Dorzecze górnej i środkowej Obry od VI do początków XI wieku. Wyd. PAN, Ossolineum, Wrocław-Warszawa-Kraków.
- Hildebrandt-Radke I., Przybycin J. 2011. Zmiany sieci hydrograficznej i zalesienia a melioracje regionu środkowej Obry (centralna Wielkopolska) w świetle danych historycznych i materiału kartograficznego. *Przegląd Geograficzny* 83(3): 323-342.
- Hładylowicz K.J. 1932. Zmiany krajobrazu i rozwój osadnictwa w Wielkopolsce od XIV do XIX wieku. *Badania z Dziejów Społecznych i Gospodarczych* 12, Lwów.
- Jaeger M., Pospieszny Ł. 2011. Tumulus Culture Barrows in the Polish Lowlands: the Case of the Cemetery in Smoszew. Ancestral landscapes burial mounds Copp. Bronze Ages (central East. Eur. - Balk. - Adriatic - Aegean, 4th-2nd Millenn. B.C.) Proceedings of the International Conference held in Udine, may 15th-18th 2008: 97-106.
- Jaeger M., Niebieszczański J., Czebreszuk J., Cwaliński M., Pospieszny Ł., Stróżyk M. 2015. Badania nad krajobrazem kulturowym z epoki brązu na pograniczu śląsko-wielkopolskim. Krajobrazy i ogrody. Ujęcie interdyscyplinarne. PTPN, Poznań: 169-181.
- Kasprolewicz P. 2013. Zróznicowanie przestrzenne cech litologicznych, geochemicznych i geomagnetycznych kurhanu kultury mogiłowej w Smoszewie (południowa Wielkopolska). Maszynopis pracy magisterskiej. Instytut Geoinformacji i Geoekologii, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. A. Mickiewicza.
- Kneisel J., Jaeger M., Pospieszny Ł., Holst M. 2010. Ausgrabungen in Smoszew, gm. Krotoszyn, Großpolen Fpl. 1 Sommer 2009 – Ein mittelbronzezeitlicher Grabhügel. *Starigard* 9: 39-43.
- Kondracki J., 2000. Geografia regionalna Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kostrzewski J. 1924. Kurhany z II-go okresu epoki brązu w okolicy Krotoszyń i Ostrowa. *Przegląd Archeologiczny* 2: 259-274.
- Krygowski B. 1958. Krajobraz Wielkopolski i jego dzieje. PWN, Warszawa.
- Krygowski B. 1961. Geografia fizyczna Niziny Wielkopolskiej. Cz. I – Geomorfologia. PTPN, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, Poznań.
- Krygowski B. (red.) 2007. Numeryczna mapa geomorfologiczna 1:300 000, Instytut Paleogeografii i Geoekologii. Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań.
- Le Borgne E. 1955. Susceptibilité magnétique anormale du sol superficiel. *Annales de Géophysique* 11: 399-419.
- Le Borgne E. 1960. Influence du feu sur les propriétés magnétiques du sol et sur celles du schiste et du granite. *Annales de Géophysique* 16: 159-195.
- Macias A. 1995. Ukształtowanie powierzchni. W: D. Kosiński, R. Marciniak, J. Parysek (red.) *Krotoszyn, t. I, przyroda, człowiek, gospodarka*. Towarzystwo Miłośników i Badaczy Ziemi Krotoszyńskiej, Krotoszyn: 19-26.
- Makarowicz M., Goslar T., Niebieszczański J., Cwaliński M., Kochkin I., Romaniszyn J., Lysenko S., Ważny T. 2018. Middle Bronze Age societies and barrow line chronology. A case study from the Bukivna 'necropolis', Upper Dniester Basin, Ukraine. *Journal of Archaeological Science* 95: 40-51.
- Pospieszny Ł. 2011. Teoria i praktyka zastosowania magnetometrii w archeologii. W: J. Jasiewicz, M. Lutyńska, M. Rzeszewski, M. Szmyt, M. Makohonienko (red.) *Metody geoinformacyjne w badaniach archeologicznych*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 72-73.
- Pospieszny Ł. 2013. Neolit i epoka brązu w Europie Środkowej w świetle poznańskich badań na cmentarzyskach. *Folia Praehistorica Posnaniensia* 18: 235-245.
- Reimer P., Bard E., Bayliss A., Beck J., Blackwell P., Ramsey C., Buck C., Cheng H., Edwards L., Friedrich M., Grootes P., Guilderson T., Haflidason H., Hajdas I., Hatté Ch., Heaton T., Hoffmann D., Hogg A., Hughen K., Kaiser F., Kromer B., Manning S., Niu M., Reimer R., Richards D., Scott M., Southon J., Staff R., Turney Ch., Van der Plicht J. 2013. IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon* 55(4): 1869-1887. doi:10.2458/azu_js_rc.55.16947
- Rzepecki S., Twardy J., Forsytek J. 2015. LiDAR barrows and aeolian hillocks. Between theory and practice. *Sprawozdania Archeologiczne* 67: 101-112.
- Schmidt A. 2007. Archeology, Magnetic Methods. W: D. Gubbins, E. Herrero-Bervera (red.) *Encyclo-*

- pedia of geomagnetism and paleomagnetism.* Springer, Dordrecht: 23-30.
- Stróżyk M. 2015. Na nowo odkryty... Badania wykopaliskowe kurhanu 18 z cmentarzyska w Smoszewie, gm. Krotoszyn. *Fontes Archaeologici Posnanienses* 51: 283-293.
- Stróżyk M. 2016. Tumulus Culture Burial Mounds in the Landscape-Krotoszyn Forest Area: the Beginnings of a New Project. Landscape Archaeology Conference 2014 Proceedings. Multi-, inter- Transdisciplinary Research in Landscape Archaeology: 1-12. doi:10.5463/lac.2014.23.
- Szumotalska A. 2012. Wpływ pradziejowej działalności człowieka na przekształcenia pokrywy glebowej na stanowisku archeologicznym w Smoszewie (woj. wielkopolskie). Maszynopis pracy magisterskiej, Instytut Geografii, Wydział Biologii i Nauk o Ziemi, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu.
- Wrzesiński D., Kaniecki A. 2000. Komentarz do mapy hydrologicznej w skali 1:50 000, arkusz M-33-11-D Krotoszyn, Wydawnictwo GEPOL, Poznań.

Summary

The burial mounds located on the Krotoszyn Ridge owe their good condition to the continuous afforestation of this area until modern times. Many of the oldest oaks in Dąbrowa Krotoszyńska are 150 years old, and some are even 225 years old.

The best way to locate barrows in the wooded area proved to be airborne laser scanning, which allowed 176 objects to be recorded, of which 118 were classified after field verification as burial mounds.

The barrow mounds of the tumulus culture of the Bronze Age were constructed of sandy material: from lithologically homogeneous sands to silty sand and sandy clay. The lithological studies show that the proportion of sandy material in the mounds is higher than in the sediments of the ground, which means that some material selected for the construction contained a greater proportion of sandy fraction. This principle is particularly confirmed by results for burial

mound 42, where the substratum is built of sandy till, while the mound is made of clayey sands.

Magnetometric prospection showed the internal differentiation of mounds. The concentration of magnetic anomalies was most often associated with the central or edge zone of the mounds. In the case of barrow 120, a significant part of the surface of the mound exhibited elevated magnetic indices.

The geological drillings, their macroscopic description and lithological analyses indicated that the source of increased magnetism in the tested mounds is found in the boreholes. The stony material found in the top layers of the mound substratum can be identified as stony wreaths, and that in the central parts of the barrows as the stone nuclei. In the macroscopic descriptions of samples, it was noted that in the sediments above the stone pavement there are ferrous accumulations formed as a result of illuvial processes in the soil profile. Probably the presence of iron compounds, and just the stone material itself, is responsible for the registered magnetic signal. The second zone of increased amount of ferric precipitations is the lithological border between sand and sandy clay, and sand and sandy silt. In this case, too, significant amounts of iron compounds may be registered as anomalies in the magnetometric prospection. One cannot exclude examples of boulders with ferromagnetic properties, especially among igneous and metamorphic rocks.

Through the research, one more source of elevated indicators of magnetic gradient was identified. It is an eighteenth-century fire layer that was found in mounds 120 and 116. In these mounds, the most spatially vast areas of magnetic anomalies were observed, which resulted from the influence of high temperature on sediments. These results were confirmed by studies on the vertical variability of magnetic susceptibility, which indicated that the group of mounds from the fire zone stood out for the highest values of magnetic susceptibility in the surface layer of sediments.