

CECHY LITOLOGICZNE WYPEŁNIEŃ WYBRANYCH ZAGŁĘBIEŃ BEZODPŁYWOWYCH OBSZARU WYSOCZYZNY ŁÓDZKIEJ

Lithological features of the infillings of selected closed depressions in the Łódź Upland

JACEK FORYSIAK*, ALEKSANDRA MAJECKA**, LESZEK MARKS**,
ANNA TOŁOCZKO-PASEK**, DANIEL OKUPNY***

Zarys treści. Małe zagłębienia bezodpływowe są powszechnym elementem rzeźby terenu środkowej Polski. Ich powstanie wiąże się głównie z procesami glacialnymi, rzecznyymi czy eolicznymi, ale większość form położonych w obszarach wysoczyznowych jest wynikiem wytopiania brył martwego lodu w fazie recesji lądolodu stadiału warty (złodowacenia odry). Prace badawcze prowadzone były na Wysoczyźnie Łódzkiej, w czterech stanowiskach z zespołami zagłębień. Miały na celu porównanie cech litologicznych wypełnień. Badania osadów pozwoliły na wyróżnienie czterech zespołów litologicznych i ukazanie zróżnicowania wypełnień badanych zbiorników. Część zagłębień nie zawierała osadów biogenicznych interglacjału eemskiego czy wczesnego vistulianu. Wskazuje to na zróżnicowanie lokalnych warunków geologicznych i odmienny przebieg zapełniania zbiorników.

Słowa kluczowe: zagłębienia bezodpływowe, interglacjał eemski, wczesny vistulian, cechy litologiczne osadów, środkowa Polska

Abstract. Small closed depressions are a common feature of the landscape of Central Poland. Their origin has been connected to various morphogenetic processes but most of the forms located in upland areas are the result of the melting of buried ice in the recession phase of the ice sheet of the Warta Stadial. A study of four sites with clusters of depressions, is being carried out in the Łódź Upland to compare the lithological features of their infillings. The analyses of the sediments have allowed to distinguish four lithological units and to display the variation between the infillings of the studied basins. Some of the depressions do not contain biogenic sediments of the Eemian Interglacial or the Early Vistulian. It indicates the presence of differences in the local geological conditions and a different course of the process of filling in of the basins.

Keywords: closed depressions, Eemian, Early Vistulian, lithology, Central Poland

Wprowadzenie

Zagłębienia bezodpływowe są częstym elementem rzeźby terenu środkowej Polski, ich pochodzenie związane jest z procesami glacialnymi, rzecznyymi czy eolicznymi (Klatkova 1990, 1997). Na obszarach wysoczyznowych, kształtowanych w okresie zaniku lądolodu stadiału warty (złodowacenia odry) i przekształcanych później w warunkach klimatu peryglacialnego (vistulian) lub umiarkowanego (interglacjał eemski oraz holocen) przeważają zbiorniki wytopiskowe. Szczególną grupę stanowią małe, raczej słabo zaznaczone na powierzchni zagłębienia, których powstanie związane jest z wytopianiem brył martwe-

go lodu (Klatkova 1990, 1997). Mają one stosunkowo głębokie kopalne misy, wypełnione mięszszymi seriami osadów zbiornikowych. Obniżenia występują zwykle w zespołach po kilka form i zlokalizowane są przeważnie na obszarach bezodpływowych, w strefach działów wodnych oraz górnych odcinków suchych dolin denudacyjnych. Zagłębienia tego typu stanowią charakterystyczny element krajobrazu całej strefy staroglacjalnej i zostały dobrze rozpoznane w regionie łódzkim (por. Klatkova 1989, 1990, 1997; Roman 2016), ale także w innych częściach Polski (m.in.: Kuszel 1997; Bruj, Roman 2007; Kupryjanowicz 2008; Rychel i in. 2014; Kupryjanowicz i in. 2016; Żarski i in. 2017a, b).

* Uniwersytet Łódzki, Katedra Geomorfologii i Paleogeografii, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź; e-mail: jacek.forysiak@geo.uni.lodz.pl

** Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Al. Żwirki i Wigury 93, 02-098 Warszawa; e-mail: a.majecka@uw.edu.pl, leszek.marks@uw.edu.pl, atoloczko@student.uw.edu.pl

*** Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN, Instytut Geografii, ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków; e-mail: daniel.okupny@up.krakow.pl

Podstawową cechą udokumentowanych zagłębień bezodpływowych jest obecność w nich biogenicznych osadów eemskich i wczesnovistuliańskich, wskazujących na powstanie mis zbiorników w schyłku zlodowacenia odry i istnienia pojezierza na Niżu Polskim w okresie interglacjału eemskiego. Stanowią one podstawę rekonstrukcji paleogeograficznych i paleoklimatycznych (por. Dylík 1967; Klatkowa 1972, 1989; Lindner 1992; Mojski 2005; Turkowska 2006; Bruj, Roman 2007; Marks i in. 2016). Wiele stanowisk zawiera zapis przemian środowiska od schyłku zlodowacenia odry (stadiału warty), poprzez interglacjał eemski i wczesny vistulian (m.in.: Jastrzębska-Mamelka 1985; Klatkowa 1990, 1997; Granoszewski 2003; Kołaczek i in. 2012).

W ośrodku łódzkim badania tego rodzaju zagłębień mają długoletnią tradycję, rozpoczęły się w okresie kartowania na potrzeby map geologicznych w skali 1:300 000 i 1:200 000, ale realizowane były także wraz z szeroko prowadzonymi badaniami przejawów środowiska peryglacjalnego (Dylík 1961, 1963, 1967). Osady biogeniczne zalegające w takich zagłębieniach podścielały często utwory związane ze środowiskiem peryglacjalnym. Podsumowanie stanu rozpoznania geologicznego i paleobotanicznego zagłębień bezodpływowych okolic Łodzi wykonane zostało przez Profesor Halinę Klatkową. W cyklu publikacji przedstawiono stanowiska z udokumentowaną budową geologiczną i wynikami badań palinologicznych, a także zaproponowano klasyfikację zagłębień (Klatkowa 1989, 1990, 1997; Klatkowa, Jastrzębska-Mamelka 1990; Klatkowa, Balwierz 1990 i inne).

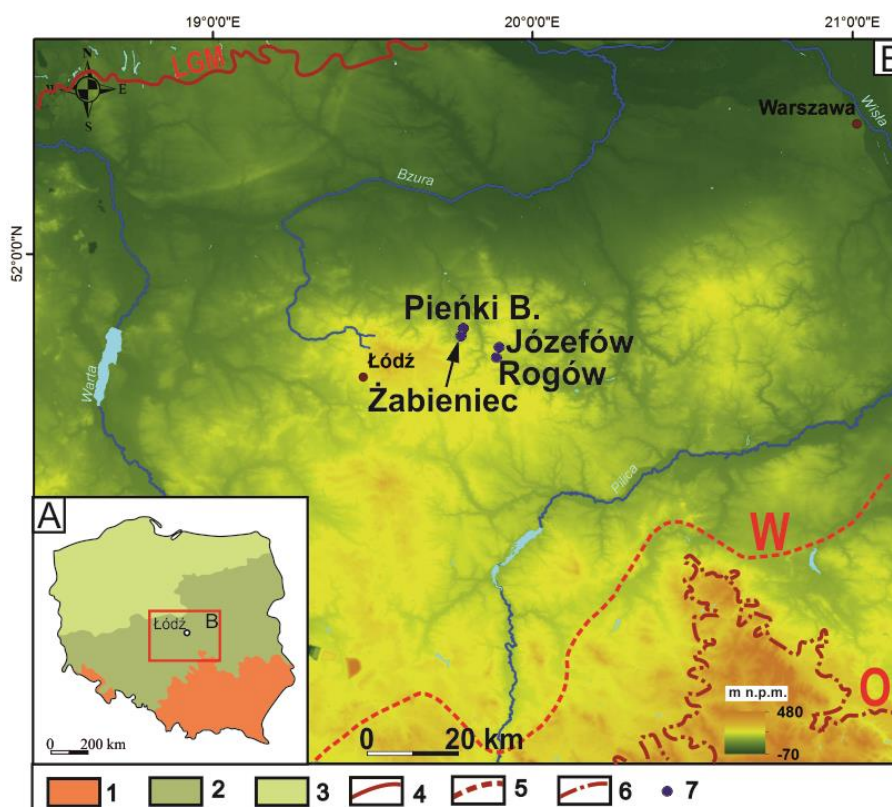
Zagłębienia bezodpływowe obecne we współczesnej rzeźbie Wysoczyzny Łódzkiej są niewielkie, zwykle mają od 2 do 10 ha, okrągły lub owalny kształt i słabo zaznaczone obniżenie powierzchni w środku misy. Jednak kopalny obraz typowego zbiornika przedstawia się odmiennie. Badania geologiczne w północno-wschodniej części Wysoczyzny Łódzkiej wykazały, że zbiorniki posiadają niemal stromościenne misy, osiagające nawet kilkanaście metrów głębokości, jak np. misa torfowiska Żabieniec (Klatkowa 1990; Twardy i in. 2010; Majecka 2014). Wypełnienia zagłębień stanowią osady biogeniczne (interglacjalne i interstadialne), mineralne (głównie peryglacjalne) i mineralno-biogeniczne, ale ich udział w stosunku do całości wypełnienia badanych mis jest zróżnicowany. W trakcie wieloletnich powierzchniowych badań geologicznych w centralnej Polsce rozpoznano wiele mis kopalnych zagłębień, wypełnionych

tylko osadami mineralnymi, bez osadów biogenicznych, jednak nie poddano ich szczegółowym analizom. Na analizowanym obszarze występują one równie często, jak te zawierające wypełnienia biogeniczne. Celem artykułu jest określenie litologicznego zróżnicowania wypełnień kopalnych badanych zbiorników i jego znaczenia dla rekonstrukcji lokalnych warunków geologicznych, geomorfologicznych i paleohydrologicznych podczas akumulacji. Wyniki badań litologicznych wraz z uzyskanymi już wynikami analiz paleobotanicznych pozwolą na ustalenie warunków powstawania i funkcjonowania takich zbiorników, ale także na odniesienie się do genezy obniżzeń. Badania prowadzono w czterech obszarach testowych w północno-wschodniej części Wysoczyzny Łódzkiej (rys. 1). Pod uwagę wzięto zagłębienia, których geneza związana jest bezpośrednio lub pośrednio z obecnością łądolu. Liczną grupę stanowiły zagłębienia o wytopiskowej genezie mis, inne formy współcześnie nieco lepiej zaznaczone w morfologii terenu mogły zostać przekształcone w warunkach klimatu peryglacjalnego. Może to wskazywać na konieczność wskazania zróżnicowania genetycznego i wiekowego opisywanych kopalnych zagłębień.

Stanowiska badawcze

Badaniami objęte zostały cztery stanowiska w północno-wschodniej części Wysoczyzny Łódzkiej. Stanowią one poligony testowe: Józefów, Rogów, Pieńki Bielańskie i Żabieniec (rys. 1), w każdym z nich znajduje się kilka zagłębień, różniących się na ogół warunkami morfologicznymi i litologią wypełnienia.

Stanowisko Józefów położone jest w odległości około 35 km na północny wschód od Łodzi w strefie północnej krawędzi Wysoczyzny Łódzkiej. Jest jednym z ważniejszych stanowisk dla obrazu paleogeograficznego i stratygrafii osadów górnego czwartorzędu Polski (Mojski 2005), szeroko prezentowanym w latach 60. XX wieku. W Józefowie udokumentowany został zespół kopalnych zbiorników z wypełnieniem organiczno-mineralnym, deformacjami postsedymentacyjnymi i strukturami peryglacjalnymi, które zostały uznane za ślady kopalnego pingo (Dylík 1961, 1967; Klajnert 1965), jak dotąd jedyne w Polsce Środkowej. Badania paleobotaniczne wskazały w osadach wypełnienia jeziorno-torfowego obecność flory eemskiej i wczesnego vistulianu (Sobolewska 1966; Dylík 1967).



Rys. 1. Lokalizacja stanowisk badawczych na tle stref morfogenetycznych Polski (A) i ukształtowania terenu Wysoczyzny Łódzkiej oraz zasięgu lądolodu (B)

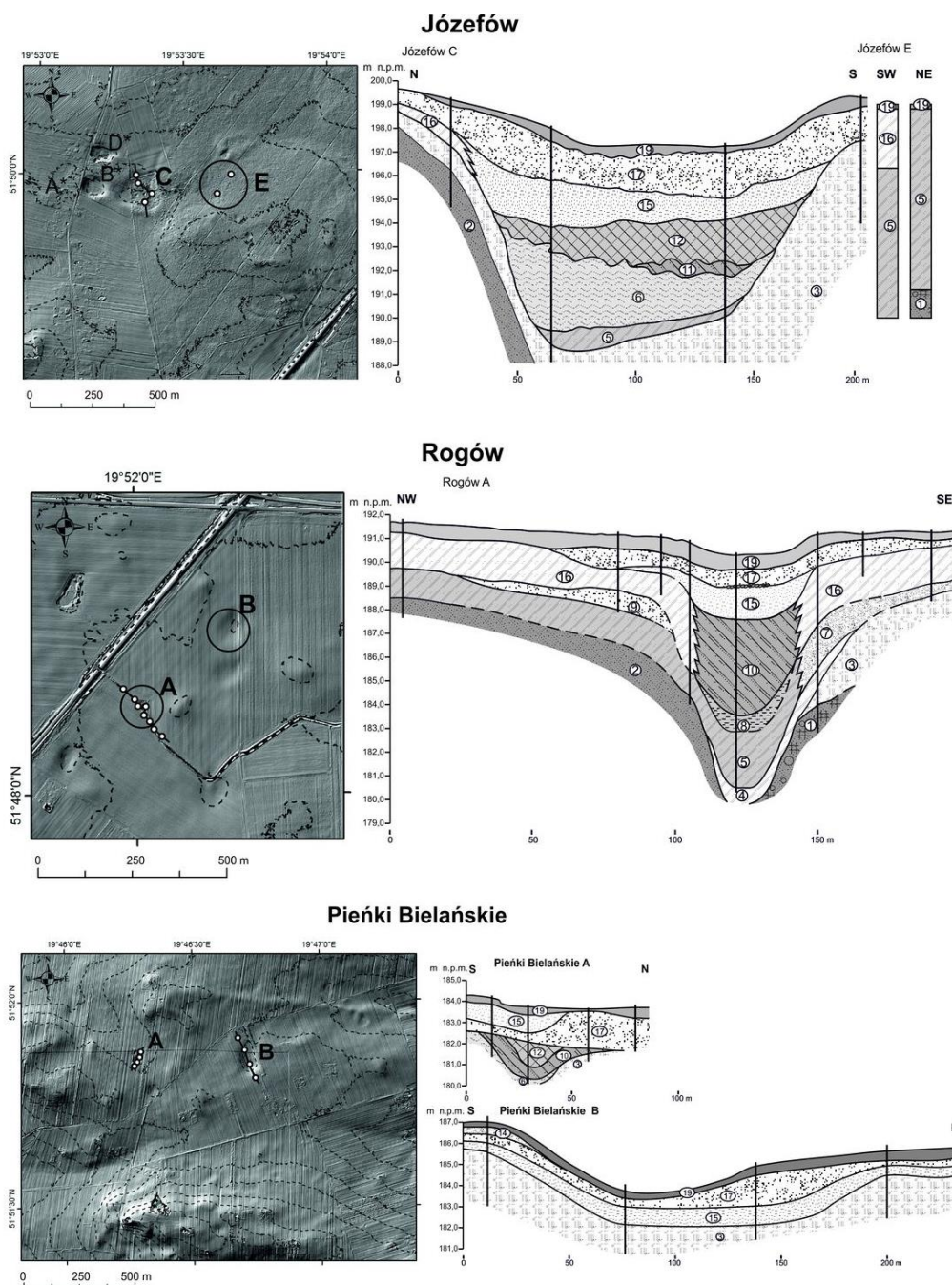
1 – obszar gór i wyżyn, 2 – strefa staroglacjalna, 3 – strefa młodoglacjalna, 4 – maksymalny zasięg zlodowacenia wisły, 5 – zasięg stadiału warty, 6 – maksymalny zasięg zlodowacenia odry, 7 – lokalizacja zbadanych stanowisk

Location of the study sites in Poland (A) and in the northern part of the Łódź Upland (B) in relation to ice-sheet extents

1 – uplands and mountains zone, 2 – Odranian (Saalian) glaciated area, 3 – Vistulian glaciated area, 4 – maximum limit (LGM) of the Vistulian (=Weichselian) Glaciation, 5 – Warta Stadial limit, 6 – Odranian Glaciation limit (Saalian), 7 – studied sites

Miejsce występowania zespołu pięciu zagłębień stanowi lokalny dział wodny pomiędzy suchymi współcześnie dolinkami, skierowanymi na zachód do doliny Mrogi, a górnym, również obecnie suchym, odcinkiem doliny Łupi. Szerokość strefy wododziałowej w tym miejscu waha się od 1,5 do 2,0 km. Jest to monotonna powierzchnia wysoczyzny morenowej płaskiej, ze słabo zaznaczonymi obniżeniami, która od wschodu graniczy z równinami wodnolodowcowymi (Nowacki 1993). W rejonie Józefowa powierzchnia wysoczyzny leży około 200 m n.p.m., otaczający teren podnosi się do 210–213 m n.p.m. zarówno w kierunku północnym, jak i południowym. Obecnie badania prowadzone są w dwóch zagłębiach, oznaczonych jako C i E. Misa zagłębienia C badana była w latach sześćdziesiątych (Klajnert 1965). Druga, dotychczas niebadana kopalna forma – E, oddalona od C

o około 500 m na wschód, jest mniejsza i ma owalny kształt (rys. 2). Podczas szczegółowych badań geologicznych w latach 60. XX wieku obejmujących zagłębienia w Józefowie określono, że forma C, podobnie jak A, B i D zajmuje obniżenie w stropie gliny zwałowej, spoczywającej na serii piasków i żwirów fluwioglacjalnych. W spągu występuje seria gliniasto-piaszczysta, określona jako utwory ablacyjne (Klajnert 1965), a właściwe wypełnienie misy stanowią piaski i mułki jeziorne oraz torfy i mułki jeziorne, przykryte serią osadów stokowych. Wiercenia przeprowadzone w zagłębieniach C i E w 2016 roku pozwoliły na udokumentowanie w spągu misy zbiornika C osadów piaszczystych o genezie glacialnej i fluwioglacjalnej. Wiercenia w zagłębieniu E potwierdziły, że dno jego misy podściela warstwa gliny zwałowej.



Rys. 2. Ukształtowanie terenu zbadanych stanowisk i ich otoczenia (na podstawie obrazu lidarowego) oraz przekroje geologiczne przez wybrane zagłębienia

stadiał warty: 1 – glina zwałowa, 2 – piasek pylasty z gliną piaszczystą lodowcową, 3 – piasek i żwir wodnolodowcowy, 4 – piasek lodowcowy pylasty, 5 – mułek mineralno-organiczny, 6 – mułek mineralny przewarstwiony piaskiem, 7 – piasek drobnoziarnisty, 8 – mułek organiczny, 9 – piasek różnoziarnisty; eem, wczesny vistulian: 10 – gytja z wkładkami mułków, 11 – gytja, 12 – torf, 13 – mułek deluwialny i drobnoziarnisty piasek, 14 – mułek mineralno-organiczny; plenivistulian: 15 – piasek pylasty, 16 – mułek z piaskiem drobnoziarnistym, 17 – piasek różnoziarnisty z mułkiem i żwirem, 18 – piasek drobnoziarnisty, 19 – warstwa próchnicza

Examined sites and their surroundings (after LiDAR data)
and geological cross-sections across the selected palaeolake basins

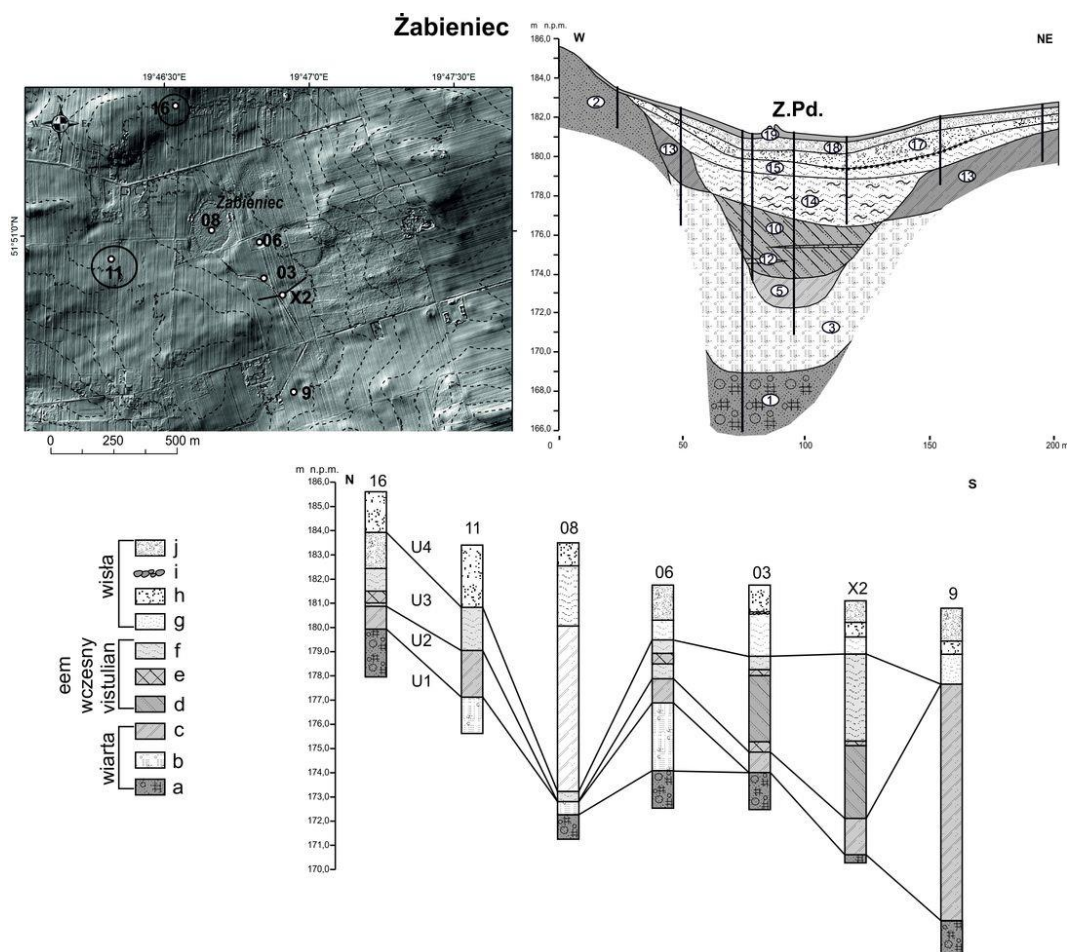
Warta Stadial: 1 – glacial till, 2 – silt with sandy till, 3 – fluvioglacial sand and gravel, 4 – glacial silty sand, 5 – mineral-organic silt, 6 – mineral silt, 7 – fine sand, 8 – organic silt, 9 – vari-grained sand; Eem and Early Vistulian: 10 – gyttja with organic silt, 11 – gyttja, 12 – peat, 13 – deluvial silt with fine sand, 14 – mineral-organic silt; Plenivistulian: 15 – silty sand, 16 – silt with fine sand, 17 – varigrained sand with silt and gravel, 18 – fine sand, 19 – humus layer

Stanowisko Rogów obejmuje fragment obszaru wododziałowego pomiędzy doliną Mrogi oddaloną o 1,9 km na zachód i doliną Rawki, oddaloną od badanego wododziału o 5,9 km na południowy wschód. Dolina Mrogi ma południkowy przebieg, typowy dla rzek odwadniających Wysoczyznę Łódzką na północ, natomiast Rawka płynie na tym odcinku równoleżnikowo. Kilkaśmetrów na wschód od zbadanego obszaru swój początek bierze rozbudowana boczna odnoga doliny Rawki, która w górnym odcinku ma charakter suchej doliny. Utwory powierzchniowe stanowi tu mozaika płatowo zalegających glin zwałowych, budujących wysoczyznę morenową płaską oraz piasków i żwirów wodnolodowcowych stadiału warty (Trzmiel 1990). Badaniem objęto dwa niewielkie, sąsiadujące ze sobą zagłębienia bezodpływowe, oznaczone jako A i B (rys. 2). Misa kopalnego zbiornika A, o głębokości około 11,0 m, wykształcona jest w piaskach wodnolodowcowych, a forma B, o głębokości 6,0 m, uformowana została w glinie zwałowej. Zagłębienie B położone jest około 400 m na północny wschód od stanowiska Rogów A. Jest mniejsze, ale wyraźniej zaznaczone w terenie.

Stanowisko Żabieniec leży w obszarze wododziałowym pomiędzy dolinami Mrożyca na zachodzie i Mrogi na wschodzie. Obejmuje bardziej rozległe obniżenie bezodpływowe, o powierzchni prawie 60 hektarów. W jego obrębie znajduje się kilkanaście małych owalnych zagłębień (rys. 3), z centralnie położoną misą torfowiska Żabieniec (Twardy i in. 2010). Wcześniejsze publikacje dotyczące stanowiska skupiały się na analizach litologii osadów, w pracach geomorfologicznych (Forysiak, Twardy 2010), ale również wynikach badań palinostratygraficznych i paleoekologicznych (Lamentowicz i in. 2009; Balwierz 2010; Majecka 2014; Majecka i in. 2016). W centralnie położonym torfowisku udokumentowano osady biogeniczne (torfy i gytie) o ponad 12-metrowej miąższości, co już czyni obiekt unikalnym w tej części Polski. Profil zawiera pełną sukcesję pyłkową od późnego vistulianu do współczesności (Balwierz 2010), stanowiąc ważne stanowisko dla chronostratygrafii późnego plejstocenu w centralnej Polsce (Ralska-Jasiewiczowa i in. 2004). W połączeniu z sekwencjami osadowymi z eemskiego zbiornika Żabieniec Południowy opisywane stanowisko ilustruje przekształcenia środowiska niemal w całym okresie od schyłku

złodowacenia odry do współczesności (Majecka 2014; Majecka i in. 2016). Od strony północnej, wschodniej i południowej obszar obniżenia otacza wysoczyzna morenowa, a od południa piaszczysto-żwirowe równiny sandrowe, w których ukształtował się górny odcinek doliny denudacyjnej. Przebiega ona w kierunku północno-zachodnim, do doliny Mrożyca i stanowi kontynuację badanego rozległego obniżenia. Wysokości względne otaczających wzgórz morenowych w stosunku do obniżenia wynoszą od 5 do 23 m (Twardy i in. 2010). Badaniem objęto siedem odrębnych zagłębień oznaczonych na mapie lokalizacyjnej numerami prezentowanych profili litologicznych (rys. 3). Misy zagłębień wykształcone są w glinach jako małe, słabo widoczne w morfologii terenu formy, o powierzchni poniżej 3 hektarów.

Stanowisko Pieńki Bielańskie położone jest na północ od stanowiska Żabieniec i oddzielone od niego ciągiem wzgórz morenowych, którym towarzyszy rozległy płat piasków i żwirów wodnolodowcowych, zalegających na osadach zwałowych stadiału warty (Nowacki 1990, 1993). Wspomniane wzgórza morenowe stanowią obszar wododziałowy Mrogi i Mrożyca. Stanowisko obejmuje trzy małe zagłębienia o powierzchni od 3 do 4 hektarów. Zagłębienie A leży w zachodniej części poligonu badawczego (rys. 2). W kierunku północno-zachodnim od niego rozpoczyna swój przebieg słabo zaznaczona dolina denudacyjna, nawiązująca do doliny Mrożyca. Zagłębienie B stanowi z kolei początek dużej doliny denudacyjnej biegnącej w kierunku Kołacina, do doliny Mrogi. Dna obu kopalnych mis osadzone są w utworach złodowacenia odry, w postaci piasków i żwirów wodnolodowcowych. Zagłębienie A wypełnia sekwencja osadów od spągu rozpoczynająca się warstwą mułku mineralnego, na którym zalegają organiczne mułki jeziorne z przewarstwieniami gytii oraz seria torfu. Warstwę stropową tworzy seria piasku różnoziarnistego z mułkiem i pojedynczymi żwirami i mułku piaszczystego, która niemal całkowicie wyrównuje obraz morfologiczny zagłębienia. Całkowita miąższość wypełnienia wynosi 3,6 m. Misa zagłębienia B, wyraźnie zaznaczona w morfologii terenu, cechuje się zaledwie 1,5-metrowej miąższości wypełnieniem osadami mineralnymi, w postaci piasku różnoziarnistego z mułkiem i pojedynczymi żwirami oraz mułku piaszczystego.



Rys. 3. Ukształtowanie terenu otoczenia stanowiska Żabieniec (na podstawie obrazu lidarowego) oraz osady wypełniające misy zagłębień na tym obszarze

objaśnienia do przekroju geologicznego jak na rys. 2

profile litologiczne na podstawie Forsyś, Twardy (2010) oraz Majecka (2014)

zespół litologiczny U1 – stadiał warty, zespół litologiczny U2 – stadiał warty, zespół litologiczny U3 – eem i wczesny wiscian, zespół litologiczny U4 – pleniviscian i późny wiscian

litologia: a – glina zwałowa, b – piaski i żwirny wodnolodowcowe, c – mułek mineralny, d – mułek organiczny z gytją i torfem, e – torf, f – mułek organiczny, g – mułek piaszczysty, h – piasek różnoziarnisty, i – poziom kamienisty, j – piasek drobnoziarnisty

Stratigraphy of sediments filling closed depressions near Żabieniec site (after LiDAR data)

for lithology in cross-section see Fig. 2

lithological profiles based on Forsyś, Twardy (2010) and Majecka (2014)

lithological units: U1 – Warta Stadial, U2 – Late Warta Stadial, U3 – Eemian Interglacial and Early Vistulian, U4 – Pleniviscian and Late Vistulian

lithology: a – glacial till, b – fluvioglacial sand and gravel, c – mineral silt, d – organic silt with gyttja and peat, e – peat, f – organic silt, g – sandy silt, h – vari-grained sand, i – stone horizon, j – fine sand

Metody badawcze

Kopalne zbiorniki objęte badaniami wybrano przede wszystkim ze względu na ich wododziałowe położenie, sprzyjające zachowaniu pierwotnych sekwencji i miąższości osadów. W ramach wstępnych prac kartograficznych przeprowadzono analizę szczegółowych map geologicznych w skali 1:50 000, map topograficznych 1:10 000 oraz obrazów LiDAR, z wykorzystaniem opro-

gramowania ArcGis, w którym wykonano mapy lokalizacyjne obszarów badań. Stały się one podstawą typowania miejsc wierceń geologicznych w obszarach testowych, we wcześniej niebadanych stanowiskach – Rogów i Pieńki Bielańskie oraz do powtórzenia wierceń w stanowisku Józefów, badanym w latach 60. XX wieku.

Badania terenowe obejmowały wykonanie wierceń geologicznych sondą mechaniczną z jednometrowym postępowaniem wiercenia, w systemie obrotowym, a także wiercenia ręcznym świdrem

geologicznym. W trakcie wierceń poboru próbek osadów dokonywano punktowo, z gęstością wynikającą ze zmienności litologicznej osiągniętych utworów geologicznych (od 0,1 m do 0,3 m), a w przypadku jednolitych serii osadowych o dużej miąższości zastosowano gęstość około 0,5–0,7 m. Rdzenie przeznaczone do analiz paleobotanicznych i geochemicznych pobrano sondą Geoprobe. Materiał poddano badaniom laboratoryjnym. Wykonano analizy uziarnienia, zawartości węgla wapnia i morfoskopii ziaren kwarcu oraz oznaczono podstawowe składniki litogeochemiczne. Analizę uziarnienia wykonano dla 160 próbek osadów mineralnych. Wyniki badań uziarnienia wykorzystano do obliczenia statystycznych wskaźników uziarnienia Folka i Warda, przede wszystkim, średniej średnicy ziaren Mz i odchylenia standardowego Sd (Mycielska-Dowgiałło 2007). Oznaczeniu zawartości węgla wapnia poddano próbki pobrane z glin zwałowych, mułków mineralnych i piasków z mułkami. Zastosowano metodę objętościową, z użyciem aparatu Scheiblera (Wicik 1993). Dla osadów zawierających frakcję piasków średnioziarnistych wykonano analizę kształtu i obróbki powierzchni ziaren kwarcu (frakcja 0,6–0,8 mm) metodą Cailleux w modyfikacji Klatkowej (1991) i Manikowskiej (1993). Określono udział procentowy 5 typów ziaren: RM – okrągłe, matowe, kształtowane przez procesy eoliczne, EL – błyszczące i zaokrąglone, modelowane w środowisku wodnym, M – pośrednie bez cech dominujących, ale zmatowione, C – ziarna pęknięte, niezależnie od cech obróbki oraz NU – ziarna nieobrobione (ostrokrawędziste). W analizie zagłębień w rejonie Żabieńca wykorzystano dokumentację z odkrywek i wierceń z wcześniejszych prac (Twardy i in. 2010; Majecka i in. 2016). W ramach prac laboratoryjnych dla 225 próbek z profili Żabieniec Południowy oraz Józefów (JO-1) oznaczono podstawowe składniki litogeochemiczne zgodnie z procedurami Tobolskiego (2000) oraz Myślińskiej (2001), tj. materię organiczną (LOI) metodą strat prażenia w piecu muflowym w temperaturze 550°C przez 4 godziny.

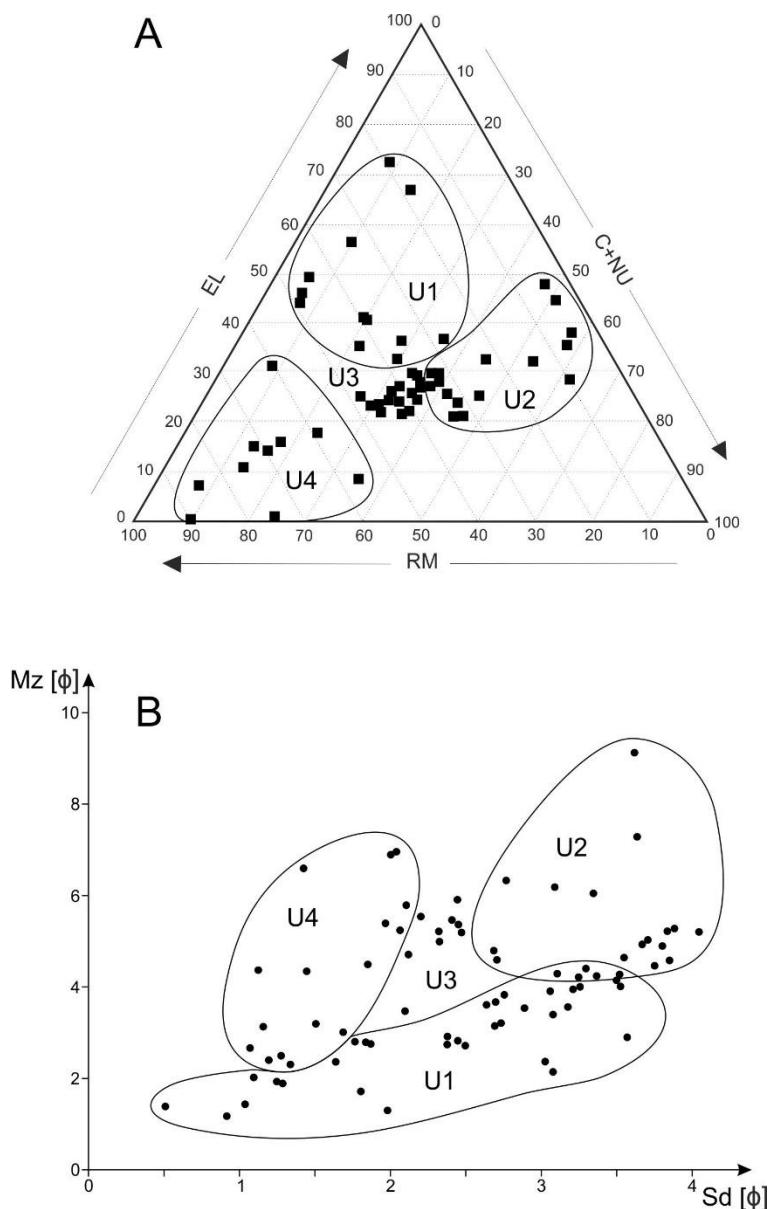
Genezę i następstwo chronologiczne osadów ustalano na podstawie wyników analiz litologicznych. Osady biogeniczne rozdzielające serie osadów mineralnych pobrano do ekspertyz palinologicznych, ale również badań geochemicznych, które są nadal w opracowaniu. To pozwala na datowanie względne poszczególnych serii osadowych w zagłębiach. Porównanie bogatej dokumentacji osadów z regionu łódzkiego umożliwia ustalenie chronologii zdarzeń

i depozycji. Dla osadów organiczno-mineralnych w części profili wykonano analizy palinologiczne oraz litologiczne, które pozwalają odnieść badane osady do starszych danych (m.in.: Klatkowa 1972, 1990; Manikowska 1999; Majecka i in. 2016), dając możliwość przypisania zbadanych sekwencji osadów do udokumentowanych w innych stanowiskach regionu serii ze schyłku stadiału warty, interglacjalnych lub vistuliańskich.

Cechy litologiczne wypełnień zbiorników

Na podstawie udokumentowanych cech litologicznych osadów w badanych profilach, opisanych poniżej, wyróżniono 4 zespoły litologiczne. Do zespołu litologicznego U1 zaliczono osady bezpośredniego podłoża kopalnych zbiorników, akumulowane w stadiale warty. Zróżnicowanie wypełnień kopalnych zbiorników daje możliwość wydzielenia kolejnych zespołów litologicznych. Zespół U2 to osady peryglacjalne, które stanowią na ogół spągowe ogniwo wypełnień, złożone w schyłku zimnego piętra warty. Zespół litologiczny U3 obejmuje osady biogeniczne interglacjalne eemskiego i wczesnego vistulianu, wraz z towarzyszącymi im utworami mineralno-organicznymi, zaś zespół U4 to vistuliańskie osady peryglacjalne.

Badania litologiczne osadów zagłębienia C w **Józefowie** wykazały, że kopalne stoki formy zbudowane są z piasku gliniastego ablacyjnego z domieszką żwiru, a także piasków wodnolodowcowych, które zaklasyfikowano do zespołu U1 (rys. 2). Osady te wychodzą na powierzchnię w strefach brzeżnych zagłębienia. W wypełnieniu kopalnego zbiornika duży udział stanowią osady zespołów U2 i U3, reprezentowane przez mułki mineralno-organiczne, gytie i torfy, z udziałem wkładek mineralnych. Stanowią one blisko 70% wypełnienia misy zagłębienia. W spągowej części wypełnienia znajdują się bardzo źle wysortowane mułki i piaski, z minimalnym udziałem materii organicznej, złożone w końcowym etapie zimnego okresu warty. Cechują się bardzo wysokim udziałem popękanych (C) i nieobrobionych (NU) ziaren kwarcu (24,7–30,2%) (rys. 4). Powyżej zalegają mułki z domieszką materii organicznej, o charakterystycznej dla siebie stalowoszarej barwie, następnie leży seria bardzo źle wysortowanych piasków z mułkami organicznymi. Utwory te zawierają nieco większy udział ziaren matowych typu RM, wskazujących na modelowanie w środowisku



Rys. 4. Cechy litologiczne badanych osadów w wyznaczonych zespołach litologicznych (U1 – U4)

A – analiza obróbki ziaren kwarcu: RM – ziarna matowe, EL – ziarna błyszczące, C – ziarna pęknięte, NU – ziarna nieobrobione; B – wskaźniki granulometryczne Folk’a i Warda: Mz – średnia średnica ziaren, Sd – odchylenie standardowe

Some lithological features of examined deposits in lithological units (U1 – U4)

A – quartz grain surface analysis: RM – rounded mat grains, EL – shiny grains, C – broken grains, NU – fresh, angular grains; B – granulometric coefficients: Mz – mean grain size, Sd – standard deviation

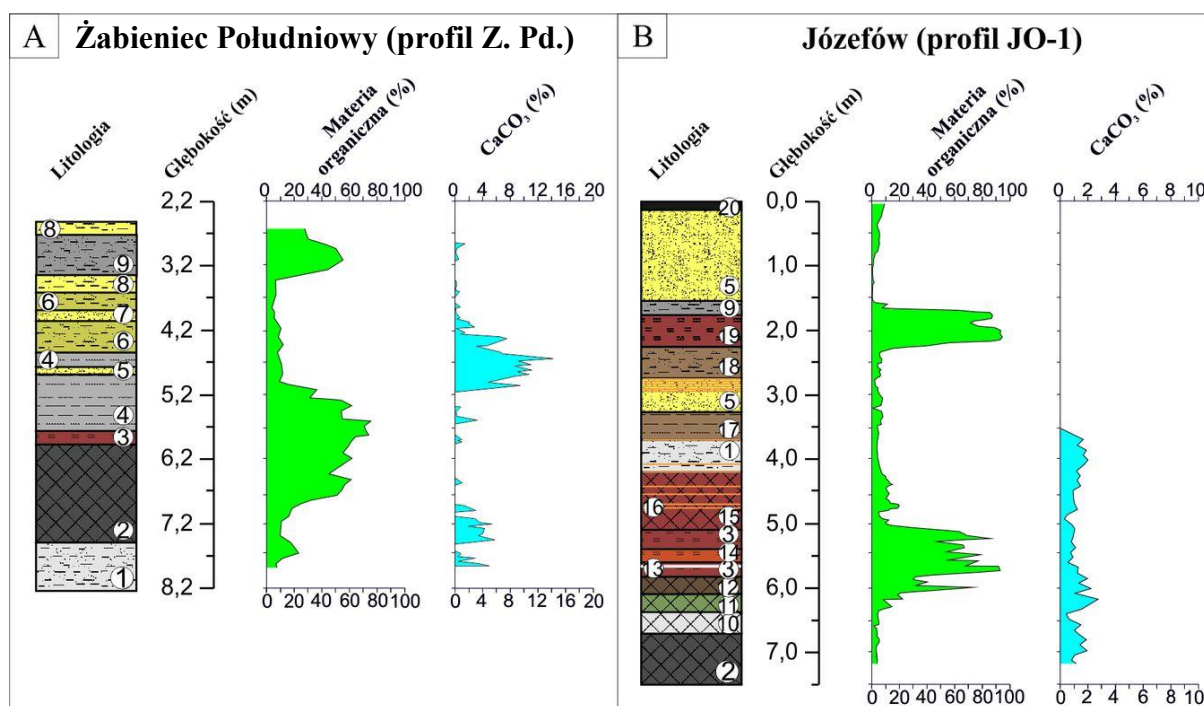
eolicznym oraz bardzo duży udział ziaren nieobrobionych (NU) i uszkodzonych (C). Opisaną serię przykrywają utwory organiczne: gytia i torf, na których leżą mułki piaszczyste z udziałem materii organicznej (zespół litologiczny U3). Zróżnicowana miąższość osadów w różnych częściach zbiornika i pojawiający się brak ciągłości warstw wskazują na możliwość istnienia zaburzeń postsedymentacyjnych. Wymienio-

ne osady przykrywa seria mułków i piasków z mułkami. Tę część wypełnienia zaliczono już do zespołu U4. Cechują ją nieco lepsze wysortowanie i inne proporcje ziaren kwarcu – dominują tu ziarna typu RM (41–57,6%), z niewielkim udziałem błyszczących EL (8,5–12,5%) oraz mniejszym udziałem ziaren pękniętych (9,3–13,6%). Powyżej zalegają piaski różnoziarniste z mniejszym udziałem ziaren eolizowanych (RM

około 40%) oraz jeszcze mniejszym odsetkiem ziaren nieobrobionych i pękniętych (NU+C).

Z zagłębienia C, na potrzeby analizy palinologicznej oraz oznaczeń fizykochemicznych, pobrano także profil osadów JO-1 (rys. 5). Spągowa część tego profilu (głębokość 7,20–6,60 m) stanowi zapis fazy depozycji drobnych mułków z niewielkim udziałem materii organicznej (wyniki strat prażenia wahają się pomiędzy 1,73–5,58%), które zaliczono do zespołu U2. W nadległej serii (głębokość 6,60–5,90 m) udokumentowano zmianę sedymentacji na osady jeziorne (głównie gytia drobnodetrytusowa), której towarzyszy gwałtowny wzrost udziału materii organicznej z 5 do 73% oraz niewielki wzrost zawartości CaCO₃ (z 0,6 do 2,7%). Na głębokości pomiędzy 5,90–5,00 m występuje dobrze rozłożony torf z licznymi fragmentami roślin. Średni udział

materii organicznej przekracza nieco 60%, z wyjątkiem trzech warstw o miąższości około 2 cm (głębokość: 5,72, 5,51 i 5,26 m), gdzie zawartość materii organicznej przekracza 80%. Środkową część profilu (głębokość 5,00–2,20 m) buduje mułek mineralno-organiczny z domieszką piasku. Udział materii organicznej waha się w granicach 0,03–20,0%, przy jednoczesnym niewielkim udziale CaCO₃ (poniżej 1%). Osady udokumentowane na głębokości 2,20–1,70 m tworzą zapis sedymentacji autochtonicznej materii organicznej, której towarzyszy wyraźny spadek udziału materii mineralnej do kilku procent. Opisane utwory stanowią element zespołu litologicznego U3. Stropowa część profilu JO-1 zbudowana jest z piasków drobnoziarnistych oraz warstwy humusu z rozłożonym torfem (straty prażenia 4,2%).



Rys. 5. Litologia, zawartość materii organicznej i węgla wapnia w osadach profili:
A – Żabieniec Południowy (Z. Pd.), B – Józefów (JO-1)

1 – mułek mineralno-organiczny, 2 – gytia z mułkiem, 3 – torf z fragmentami drewna, 4 – mułek z drobnym detrytusem roślinnym, 5 – piasek, 6 – mułek z domieszką piasku, 7 – piasek średnioziarnisty, 8 – piasek drobnoziarnisty, 9 – mułek organiczny z domieszką piasku, 10 – mułek mineralny z materią organiczną, 11 – mułek mineralno-organiczny z iłem, 12 – mułek organiczny z domieszką piasku, 13 – mułek organiczny, 14 – torf rozłożony, 15 – gytia z mułkiem mineralnym, 16 – piasek drobnoziarnisty, 17 – mułek mineralno-organiczny z piaskiem, 18 – mułek organiczno-mineralny z iłem, 19 – torf silnie rozłożony, 20 – warstwa próchnicza

Lithology, content of the organic matter (LOI) and calcium carbonate (CaCO₃):

A – Żabieniec Południowy profile (Z. Pd.), B – Józefów profile (JO-1)

1 – mineral-organic silt, 2 – gyttja with silt, 3 – peat with wood detritus, 4 – silt with fine detritus, 5 – sand, 6 – silt with an admixture of sand, 7 – middle-grained sand, 8 – fine-grained sand, 9 – organic silt with sand, 10 – mineral silt with organic matter, 11 – mineral-organic silt with clay, 12 – organic silt with sand, 13 – organic silt, 14 – decomposed peat, 15 – gyttja with mineral silt, 16 – fine-grained sand, 17 – mineral-organic silt with sand, 18 – organic-mineral silt with silt, 19 – well decomposed peat, 20 – humus layer

Podłożem misy kopalnego zagłębienia E w Józefowie jest glina piaszczysta, zawierająca około 6,5% węglanu wapnia (zespół litologiczny U1). Może być ona wiązana z serią ablacyjną, udokumentowaną przed Klajnerta (1965) na zachód od zagłębienia. Wypełnienie misy tego zbiornika stanowią głównie osady zespołu U2, w stropowej partii zalega materiał zespołu U4 (rys. 2). Litologiczne wykształcone są dość podobnie, w postaci mułków piaszczystych i piasków różnoziarnistych z przewarstwieniami mułków. Materiał w dolnej części wypełnienia jest generalnie źle wysortowany, ale pojedyncze warstwy wykazują lepsze wysortowanie. Obróbka ziaren kwarcu zawartych w dolnej serii wykazuje znaczną zmienność, udział ziaren eolizowanych wynosi 24,1–33,6% przy 19,2–25,5% ziaren błyszczących, duży jest również udział ziaren pękniętych i nieobrobionych – łącznie 24,8–33,0%. Górna warstwa utworów zaliczonych do zespołu U2 cechuje się większym udziałem frakcji mułkowej i nieco większym udziałem ziaren eolizowanych. Jest to jednak znacznie mniejszy odsetek niż w stropowej serii wypełniającej zagłębienie Józefów C, zaliczonej do U4. W jednym z otworów w stropie wypełnienia misy E (rys. 2) udokumentowano piaski drobnoziarniste o miąższości 2,5 m, z udziałem ziaren eolizowanych, które przypisano do zespołu litologicznego U4.

W stanowisku **Rogów** przeanalizowano dwa kopalne zbiorniki, w podłożu misy Rogów A udokumentowana została glina zwałowa oraz piaski lodowcowe ze żwirami (rys. 2). Spągową serię wypełnienia stanowi mułek mineralny z udziałem piasku o miąższości około 2 m, który jest źle wysortowany i zawiera kilka procent węglanu wapnia (zaliczony został do zespołu litologicznego U2). W rozkładzie typów ziaren kwarcu w tym utworze przeważają ziarna pęknięte i nieobrobione (razem 36,1–38,0%), udział typu RM jest mniejszy – 20,5–26,6%. Powyżej zalega gytia i mułek organiczny, a mułki organiczno-mineralne w kopalnych stokach zagłębienia. Seria osadów organicznych zawiera domieszkę mułków i drobnego piasku. W tych utworach udział ziaren uszkodzonych wraz z nieobrobionymi jest duży (27,9–29,1%), równie wysoka jest zawartość ziaren eolizowanych (31,0–34,1%), zaś bardzo mała (poniżej 0,2%) węglanu wapnia. Łączna miąższość utworów zaliczonych do zespołu U3 osiąga 4,5 m. Górna część wypełnienia zbiornika stanowią mułki mineralne i piaski różnoziarniste zespołu litologicznego U4. Uziarnienie osadów jest bardzo

zmiennie, również w zakresie obróbki ziaren kwarcu występuje znaczna rozbieżność między badanymi próbkami. Udział ziaren eolizowanych wynosi 24,3–56,0%, przy równie zmiennym udziale typu EL (9,3–28,2%), jak i pękniętych (12,0–28,6%).

W podłożu zagłębienia B w Rogowie udokumentowana została glina zwałowa stadiału warty, która w północnej części kopalnego zbocza obniżenia zalega na głębokości 5,6 m, zaś w jej dnie na głębokości prawie 8 m. Glina zwałowa przykryta jest piaskiem gliniastym z gliną piaszczystą, którą nawiercono w kopalnym zboczu misy, w południowej części. Miąższość wypełnienia tego kopalnego zagłębienia sięga 5,2 m. Dolną jego część tworzą mułki i mułki piaszczyste, z przewarstwieniami piasku, wyżej zdeponowane zostały piaski z wkładkami mułków mineralno-organicznych (zespół U3). Stropową część wypełnienia stanowi mułek piaszczysty, który w obrębie kopalnych zboczy przechodzi w piasek pylasty, te utwory zaliczono do zespołu U4.

W stanowisku **Pieńki Bielańskie** misa zbiornika A, położonego w zachodniej części obszaru (rys. 2), wykształcona jest w piaskach i żwirach wodnolodowcowych, zespołu litologicznego U1. Rozpoznana miąższość wypełnienia sięga 3,5 m. W wypełnieniu zbiornika wyróżnić można mułki mineralne (zespół litologiczny U2), na nich zalega mułek mineralno-organiczny, z przewarstwieniami gytii. W centralnej części zagłębienia na osadach jeziornych rozpoznano ponad metrowej miąższości warstwę torfu, w brzeżnych częściach stwierdzono mułki z piaskiem i materiałem organicznym. Miąższość serii organicznej wynosi 1,75 m. Spągową część wypełnienia stanowią osady zaliczone do zespołu U4 takie jak piasek różnoziarnisty z mułkiem i pojedynczymi żwirami oraz mułek piaszczysty, stwierdzony w centralnej części zbiornika. Misa kopalnego zbiornika B w stanowisku Pieńki Bielańskie wykształcona jest również w wodnolodowcowych piaskach średnio- i gruboziarnistych z przewarstwieniami żwiru. Wypełnienie stanowią utwory mineralne, o miąższości 1,6 m, w dolnej części jest to mułek piaszczysty, powyżej zalegają piaski różnoziarniste z domieszkami żwiru, w centralnej części zagłębienia zawierają one mułki i mułki piaszczyste, zaś w częściach stokowych większy jest udział piasków drobnoziarnistych. Utwory te w całości można zaliczyć do zespołu litologicznego U4.

W stanowisku **Żabieniec** liczne kopalne zagłębienia otaczające torfowisko Żabieniec były zinwentaryzowane w trakcie badań prowadzonych w latach 2003–2012 (Twardy i in. 2010; Majecka 2014). Podłoże mis stanowią dla większości zbiorników gliny zwałowe i gliny piaszczyste (rys. 3, profile: 16, 08, 06, 03, X2, 9) oraz piaski fluwioglacjalne (profil 11). Osady gliniaste charakteryzują się dużym udziałem frakcji piaszczystej, sięgającym od 33% do 62%. Gлина zwałowa w stropie serii zawiera dużo węglanów od 7,3% do ponad 15%. Analiza obróbki ziaren kwarcu wykazała charakterystyczny dla glin zwałowych udział ziaren eolizowanych (RM) w wysokości 20–23% i błyszczących (EL) – 21–23% (Forysiak, Twardy 2010). Wysoki, sięgający 38%, udział ziaren pękniętych (C) i nieobrobionych (NU) świadczy o intensywnych procesach wietrzeniowych oddziałujących na osad w okresie jego deponowania i formowania serii. Osady fluwioglacjalne reprezentowane są przede wszystkim przed piaski drobnoziarniste, które pod względem obróbki ziaren kwarcu zawierają 21–28% ziaren błyszczących i zaokrąglonych (EL), świadczących o modelowaniu w środowisku wodnym. Znaczny udział ziaren pękniętych (C), wynoszący 15–29%, wskazuje na wpływ wietrzenia fizycznego. Wraz z głębokością wzrasta udział procentowy węglanu wapnia do wartości 9,59–12,96%. W stropie serii wodnolodowcowej zaznacza się jej odwapnienie. Cechy granulometryczne i obróbka ziaren kwarcu udokumentowane w kilku wierceniach (Forysiak, Twardy 2010) wykazują wartości typowe dla utworów glacygenicznych i wodnolodowcowych (rys. 3). Na opisanych utworach zalega zespół litologiczny U2 wykształcony w postaci mułków i mułków piaszczystych. Osady cechuje słabe i bardzo słabe wysortowanie oraz wysoki udział procentowy węglanu wapnia, wynoszący średnio 10–15%, a w spągu nawet 18%. Miąższość serii waha się od 0,8 m (profil 03) do 9,75 m (profil 9). W profilu 9 osady schyłku warty wypełniają zagłębienie prawie w całości. Osadów tego zespołu nie stwierdzono w profilach 06 i 08. Zespół U3 w stanowisku Żabieniec tworzą mułki organiczne z wkładkami gytii, torfy oraz mułki organiczne. Miąższość serii organicznej w zagłębieniach jest różna, od 0,45 m w profilu 08, gdzie cienka warstwa mułku organicznego spoczywa bezpośrednio na piaskach wodnolodowcowych (Twardy i in. 2010), do blisko 7,0 m w profilu X2 – Żabieniec Południowy. W części spągowej tego profilu (głębokość 10,8–7,52 m) dominują mułki mineralne, zawierające węglan wapnia. Średnia za-

wartość materii organicznej w opisywanych osadach nie przekracza 10% (rys. 5). Następna seria osadów (głębokość 7,52–4,40 m) stanowi zapis dynamicznej zmiany warunków depozycyjnych na dnie zbiornika (od osadów jeziornych, poprzez silnie skompaktowany torf, mineralno-organiczny mułek aż do piasków drobnoziarnistych). Zmianom tym towarzyszy gwałtowny wzrost udziału materii organicznej z 8 do 74% oraz CaCO₃ od 0 do 18%. Osady przykryte są serią piasków różnoziarnistych z domieszką mułku i humusu (głębokość 4,40–0,0 m). Średnia zawartość materii organicznej w opisywanych osadach przekracza nieco 20%, przy maksymalnej wartości tego składnika litogeochemicznego powyżej 50% (głębokość 3,20–2,80 m). W tym zagłębieniu metodą analizy pyłkowej udokumentowano ciągłą sukcesję od schyłku stadiału warty, przez interglacjał eemski do interstadiału odderade (Majecka 2014). Prawdopodobnie, jaką zauważa się w opisywanym stanowisku, wskazuje, że zbiorniki zawierające wypełnienie materiałem organicznym są zlokalizowane bliżej osi lub w osi rozległego obniżenia. Zbiorniki zlokalizowane w strefach podstokowych obniżenia lub w strefie wąskiego dna górnego odcinka doliny denudacyjnej (profil 9) są wypełnione osadami mineralnymi. Stropową serię wypełnień stanowią osady zespołu U4, tj. mułek i mułek piaszczysty, piasek różnoziarnisty i w stropie piasek drobnoziarnisty. W profilu 08 osady te wypełniają kopalny zbiornik prawie w całości. Analiza morfoskopii ziaren kwarcu wykonana dla piasków różnoziarnistych wskazuje na 50% udział ziaren eolizowanych (RM) i wysoki (36%) udział ziaren pośrednich. Analiza obróbki ziaren kwarcu dla piasków drobnoziarnistych wykazała dominację ziaren matowych (RM), modelowanych w środowisku eolicznym, których udział sięga od 40–52% oraz znaczny udział ziaren pośrednich (M) i pękniętych (C) (Forysiak, Twardy 2010; Majecka i in. 2016).

Dyskusja

Analiza budowy geologicznej zagłębień bezodpływowych w wybranych obszarach testowych pokazuje kilka istotnych cech litologicznych, różnicujących te obiekty, które pozwalają na określenie warunków ich powstawania oraz zapełniania osadami. We wszystkich przypadkach potwierdzono, że misy kopalnych zagłębień są osadzone w osadach glacygenicznych

– glinie zwałowej lub glinie piaszczystej oraz piaskach i żwirach wodnolodowcowych. Mimo zróżnicowania ujęto je we wspólny zespół litologiczny (U1), ze względu na podobne cechy obróbki ziaren kwarcu, czy zawartość węgla wapnia. Osady te formują dna zagłębień i na ogół wyłaniają się na powierzchni topograficznej w strefach górnych krawędzi ich kopalnych stoków. Można uznać, że pierwotne misy badanych zagłębień powstały w fazie zaawansowanej recesji lądolodu warciańskiego, w efekcie wytapiania brył martwego lodu, co było stwierdzane powszechnie w regionie łódzkim (m.in.: Klatkowska 1965, 1972, 1997; Wiczorkowska 1976; Roman 2016). Inne udokumentowane w środkowej Polsce zbiorniki eemskie w spągu zawierają zarówno osady wodnolodowcowe (np. Krzeczów – Klatkowska 1972; Ostrów – Klatkowska, Winter 1990), jak i gliny zwałowe (np. Modlna – Klatkowska, Balwierz 1990; Chropy – Klatkowska 1990; Ślądkowice – Klatkowska, Jastrzębska-Mamełka 1990; Grodzisk Mazowiecki – Nowak 1973, Janczyk-Kopikowa 1973).

Zagłębienia powstające w warunkach klimatu zimnego schyłku stadiału warty, w krajobrazie pozbawionym zwartej pokrywy roślinnej, ulegały wypełnianiu osadami mineralnymi. Klatkowska (1990) wskazuje dwa ich rodzaje. Pierwszy to mułki oraz mułki piaszczyste lub ilaste, wiązane z procesami spłukiwania drobnego materiału wypłukiwanego z glin. Drugi rodzaj stanowią piaski różnoziarniste z przewarstwieniami żwirów, pochodzące z wytapiania brył lodu (Wiczorkowska 1976; Klatkowska 1990). W analizowanych zagłębieniach takie osady ujęto w zespół litologiczny U2, wykształcony najczęściej jako mułki z różnymi domieszkami, rzadziej piaski. W tej serii spotyka się wkładki osadów biogenicznych, które dają możliwość rekonstrukcji szaty roślinnej (Majecka 2014), wkraczającej na młode formy polodowcowe. Wydajność akumulacji tych osadów jest zróżnicowana, co wynika zarówno z cech morfologicznych zagłębienia i jego zlewni bezpośredniej, jak i zależy od litologii osadów, które budują otoczenie misy. Serie analogiczne do wyróżnionego zespołu U2 obserwowane są w innych stanowiskach opisywanej strefy (m.in.: Janczyk-Kopikowa 1973; Klatkowska 1990; Seret i in. 1990; Granoszewski 2003). Niektóre zbiorniki w zbadanych zespołach, położone w dolnych strefach stoków, mogły więc ulec znacznemu wypełnieniu już u schyłku stadiału warty (Majecka 2014).

Wiele z udokumentowanych kopalnych zbiorników w środkowej Polsce zawiera

w swych wypełnieniach osady biogeniczne, związane wiekowo z interglacjalem eemskim oraz mineralno-biogeniczne z wczesnego vistulianu (m.in.: Klatkowska 1972, 1990; Jastrzębska-Mamełka 1985; Klatkowska, Jastrzębska-Mamełka 1990; Klatkowska, Załoba 1991; Janczyk-Kopikowa 1997; Balwierz, Roman 2002; Balwierz 2003; Bruj, Roman 2007; Kołaczek i in. 2012; Roman 2016). Podobne utwory stwierdzone są w zbiornikach w innych częściach Niżu Środkowoeuropejskiego (m.in.: Woillard 1978; Seret i in. 1990; Granoszewski 2003; Behre i in. 2005; Kühl i in. 2007; Helmens 2014). W badanych zagłębieniach osady biogeniczne i mineralno-biogeniczne eemu i wczesnego vistulianu stanowią serię o największym potencjale paleoekologicznym (zespół litologiczny U3). Wielość stanowisk w centralnej Polsce zawierających florę tego wieku wskazuje na istnienie sprzyjających warunków do funkcjonowania zbiorników jeziornych i torfowisk. Położenie zbiorników z eemskimi i wczesnovistuliańskimi osadami biogenicznymi w obszarach interglacjalnych działów wodnych potwierdza, że były to strefy spokojnej i względnie ciągłej akumulacji zbiornikowej. Osady zaliczone do zespołu litologicznego U3 obejmują także materiał mineralny, który charakteryzuje się mniejszym zróżnicowaniem granulometrycznym w porównaniu z zespołami starszymi (U1, U2), ale podobnymi cechami obróbki ziaren kwarcu. Odmienne mogą być ich parametry fizykochemiczne (zawartość materii organicznej, węgla wapnia czy odczyn), które zależą w dużym stopniu od lokalnych warunków w zbiorniku i jego zlewni. Charakter wypełnienia rozpoznanych zagłębień zależy od litologii osadów podścielających misy zbiorników oraz osadów budujących otaczającą wysoczyznę. Ma to znaczenie w kontekście ich wodoprzepuszczalności, mogło bowiem sprzyjać zatrzymaniu w nich wody, bądź podziemnemu drenowaniu zbiorników. Funkcjonowanie zbiorników z akumulacją biogeniczną uformowanych w glinach jest częstsze ze względu na nieprzepuszczalność podłoża. Taka sytuacja potwierdza się w większości zagłębień w Żabińcu (profile 16, 03, X2). Zagłębienie C w Józefowie jest podścielone osadami piaszczystymi (U1), ale w ich podłożu zalega glina zwałowa, osady organiczne w jego wypełnieniu mają miąższość 5,1 m, co świadczy o długotrwałym funkcjonowaniu zbiornika. Podobna sytuacja miała miejsce w profilu 06 w Żabińcu. W zagłębieniu B w Rogowie w wypełnieniu zbiornika występują natomiast śladowe ilości osadów organicznych,

co może wynikać z głębszego zalegania pokładu gliny, leżącej pod serią piaszczystą.

Cześć kopalnych zagłębień, także w prezentowanych obszarach testowych, zawiera jedynie vistuliańskie osady mineralne, zaliczone do zespołu litologicznego U4. Przykładami są: zagłębienie B w Pieńkach Bielańskich i zagłębienie E w stanowisku Józefów. Śladowe ilości osadów biogenicznych w postaci mułków mineralno-organicznych stwierdzono w zagłębieniu 08 w Żabieńcu i zagłębieniu B w Rogowie. Zagłębienia bez materiału organicznego w wypełnieniach na ogół zlokalizowane są w sąsiedztwie takich, które zawierają osady, co potwierdzają badania we wszystkich czterech obszarach testowych. Tak więc o ich odmiennym wypełnieniu musiały decydować specyficzne cechy zagłębień takie jak litologia podłoża i kopalnych zboczy lub późniejsze uformowanie misy. Na tego typu zróżnicowanie wskazywała już Klatkowska (1990).

Zbadane zbiorniki pomimo długotrwałego funkcjonowania i wypełniania w wielu przypadkach wciąż stanowią na powierzchni wysoczyzny wyraźne formy wklęsłe. Te z nich, które mają położenie wododziałowe, nie zostały włączone w vistulianie w systemy otwarte dolin denudacyjnych, tak jak liczne formy położone w obrębie stoków wysoczyzn czy w dolinach denudacyjnych (Klatkowska 1965, 1989, 1990). Przykłady ciągów zagłębień w Rudunkach (Klatkowska 1989) i Ślądkowicach (Klatkowska, Jastrzębska-Mamełka 1990) pokazują, że w zagłębieniach włączanych w odpływ następowało zniszczenie serii biogenicznych i wypełnienie grubymi seriami produktów plenivistuliańskiej denudacji. Przykład wyraźnych w terenie zagłębień w Modlnej, gdzie obok zagłębienia z wypełnieniem eemskim (Klatkowska, Balwierz 1990) rozpoznano kolejne ze śladowymi ilościami osadów tego wieku, ale z mięszymi seriami osadów mineralnych vistulianu, jest potwierdzeniem możliwości przetrwania takich zagłębień bez wypełnienia biogenicznego z okresu interglacjału eemskiego i wczesnego vistulianu i ich zapełnienia dopiero po uaktywnieniu warunków peryglacjalnych (Klatkowska 1990, 1997). Zjawiska peryglacjalne w specyficznej sytuacji mogły dawać możliwość modyfikowania lub znacznego przekształcania kształtu zagłębień. Jeziora termokrasowe i formy pingo występują na obszarach współczesnej strefy peryglacjalnej na północy Kanady, Alasce czy Rosji (Czudek, Demek 1970; Mackay 1992). Symptomy kopalnych zjawisk i form peryglacjalnych z plenivistulianu w środkowej Polsce są

powszechnie znane (m.in.: Dylík 1961, 1963, 1967; Goździk 1973). Przykładem kopalnej formy jest pingo w Józefowie (Dylík 1963, 1967). Przeprowadzone w latach 60. XX wieku prace w zagłębieniu C, które zbadane zostało również obecnie, pozwoliły Dylíkowi na stwierdzenie dwufazowych deformacji osadów powyżej warstwy torfu korelowanego z interstadiem amersfoort/brörup i tym samym dwukrotny rozwój pagórka pingo, wiekowo wiązany z VS2 (stadiem świecia) i VS3 (Dylík 1967; Mojski 2005). Nie udokumentowano dotąd obrazu struktur osadów w zagłębieniach z wypełnieniem mineralnym, ale przykład zagłębienia C w Józefowie z zarejestrowanymi licznymi strukturami peryglacjalnymi wskazującymi na procesy termokrasowe (Klajnert 1965; Dylík 1967), pozwala wysunąć hipotezę, że wśród badanych stanowisk mogą być również takie, których genezę należy łączyć z procesami termokrasowymi w vistulianie. Dalsze badania strukturalne pozwolą na weryfikację tej hipotezy.

Podsumowanie

O podstawowych cechach przedeemskiej rzeźby terenu środkowej Polski decydowały procesy glacialne. Zagłębienia bezodpływowe tego obszaru mają więc w głównej mierze genezę polodowcową. Ich podłoże jest często gliniaste lub gliniasto-piaszczyste (morenowe), rzadziej piaszczysto-żwirowe, co pozwala stwierdzić, że powstały jako efekt wytapiania brył martwego lodu w okresie zaniku łądolodu warty. Jednak stwierdzone zróżnicowanie zdeponowanych w nich osadów wskazuje na różne uwarunkowania czasowe i genetyczne kształtowania się wypełnień.

Badania osadów wypełniających zbiorniki w czterech poligonach badawczych pozwoliły na wyróżnienie czterech zespołów litologicznych: glacialne serie podłoża zagłębień wydzielone jako zespół U1, osady zdeponowane u schyłku zimnego okresu warty w uformowanych już zbiornikach, głównie mineralne, zaliczone do zespołu litologicznego U2, osady organiczne i mineralno-organiczne interglacjału eemskiego i wczesnego vistulianu stanowią zespół U3 i mineralne, piaszczysto-mułkowe serie plenivistuliańskie jako zespół U4. Zbiorniki posiadające wypełnienie złożone z osadów wszystkich wymienionych zespołów powstały w fazie końcowej zlodowacenia warty i stanowiły obiekt akumulacji utworów mineralnych i biogenicz-

nych w zmieniających się warunkach klimatycznych interglacjału eemskiego i vistulianu oraz przy zmieniającym się tempie denudacji zlewni zbiorników i zróżnicowanej dostawie materiału. Brak młodszych z analizowanych zespołów osadów świadczy o szybkim wypełnieniu misy zagłębienia, z kolei późniejsze uformowanie się zbiornika lub jego modyfikacje u schyłku warty lub w vistulianie skutkowały brakiem lub silną redukcją osadów reprezentujących starsze z zespołów. Położenie zbadanych zagłębień w strefach wododziałowych ograniczało ryzyko ich włączenia do sieci niecek i dolin denudacyjnych w plenivistulianie, co w niższym położeniu (stokowym lub dolinnym) prowadziło do rozcinania i niszczenia wypełnień albo ich głębokie przykrycie osadami i zniknięcie z powierzchni topograficznej.

Autorzy dziękują Recenzentom za wnikliwe recenzje. Badania zrealizowano dzięki finansowaniu z budżetu Narodowego Centrum Nauki w ramach projektu 2014/15/B/ST10/03809).

Literatura

- Balwierz Z. 2003. Roślinność vistulianu w Polsce Środkowej. Botanical Guidebooks 2. W: E. Zastawniak (red.) *Paleobotanika na przelomie wieków*. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków: 217-232.
- Balwierz Z. 2010. Analiza pyłkowa osadów torfowiska Żabieniec. W: J. Twardy, J. Forysiak, S. Żurek (red.) *Torfowisko Żabieniec: warunki naturalne, rozwój i zapis zmian paleoekologicznych w jego osadach*. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań: 179-188.
- Balwierz Z., Roman M. 2002. A new Eemian Interglacial to early Vistulian site at Łanięta, central Poland. *Geological Quarterly* 46(2): 207-217.
- Behre K.E., Hölzer A., Lemdahl G. 2005. Botanical macro-remains and insects from the Eemian and Weichselian site of Oerel (northwest Germany) and their evidence for the history of climate. *Vegetation History and Archaeobotany* 14: 31-53.
- Bruj M., Roman M. 2007. Zasięg pojezierza z interglacjału eemskiego w Polsce a pozycja stratygraficzna łądolołów zlodowaceń środkowopolskich. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 425: 27-34.
- Czudek T., Demek J. 1970. Thermokarst in Siberia and its influence on the development of lowland relief. *Quaternary Research* 1: 103-120.
- Dylik J. 1961. Guide-book of Excursion C. The Łódź region. VIth INQUA Congress, Poland.
- Dylik J. 1963. Nowe problemy wiecznej zmarzliny plejstocenijskiej. *Acta Geographica Lodziensia* 17: 1-93.
- Dylik J. 1967. Główne elementy paleogeografii młodszego plejstocenu Polski Środkowej. W: R. Galon, J. Dylik (red.) *Czwartorzęd Polski*. PWN, Warszawa: 311-352.
- Forysiak J., Twardy J. 2010. Budowa geologiczna i paleogeografia torfowiska Żabieniec i jego otoczenia. W: J. Twardy, J. Forysiak, S. Żurek (red.) *Torfowisko Żabieniec: warunki naturalne, rozwój i zapis zmian paleoekologicznych w jego osadach*. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań: 17-42.
- Goździk J. 1973. Geneza i pozycja stratygraficzna struktur peryglacialnych w środkowej Polsce. *Acta Geographica Lodziensia* 31: 1-117.
- Granoszewski W. 2003. Late Pleistocene vegetation history and climatic changes at Horoszki Duże, eastern Poland: a palaeobotanical study. *Acta Palaeobotanica* (4 Suppl.): 3-95.
- Helmens K.F. 2014. The Last Interglacial-Glacial cycle (MIS 5-2) re-examined based on long proxy records from central and northern Europe. *Quaternary Science Reviews* 86: 115-143.
- Janczyk-Kopikowa Z. 1973. Analiza pyłkowa osadów interglacjału eemskiego w Grodzisku Mazowieckim. *Kwartalnik Geologiczny* 17(4): 821-827.
- Janczyk-Kopikowa Z. 1997. Analiza pyłkowa osadów interglacjału eemskiego w Ruszkówku na Pojezierzu Kujawskim. *Przegląd Geologiczny* 45(1): 101-104.
- Jastrzębska-Mamelka M. 1985. Interglacjał eemski i wczesny vistulian w Zgierzu-Rudunkach na Wyżynie Łódzkiej. *Acta Geographica Lodziensia* 53: 1-75.
- Klajnert Z. 1965. Budowa geologiczna i geneza zagłębień bezodpływowych w Józefowie. *Przegląd Geograficzny* 37: 143-162.
- Klatkova H. 1965. Niecki i doliny denudacyjne w okolicach Łodzi. *Acta Geographica Lodziensia* 19.
- Klatkova H. 1972. Paleogeografia Wyżyny Łódzkiej i obszarów sąsiednich podczas zlodowacenia warciańskiego. *Acta Geographica Lodziensia* 28: 1-142.
- Klatkova H. 1989. The incorporation of closed depression into the open erosional system as one of the models of head valley stretch fashioning in the Vistulian. *Quaestiones Geographicae* 2: 83-91.
- Klatkova H. 1990. Występowanie eemskich osadów organicznych i uwagi o paleomorfologii środkowej Polski u schyłku warty i podczas eemu. *Acta Geographica Lodziensia* 61: 7-18.
- Klatkova H. 1991. Wyniki analizy morfoskopowej wybranych osadów czwartorzędowych środkowej Polski. W: A. Kostrzewski (red.) *Geneza*,

- litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych. Wyd. UAM, Ser. Geografia 50: 277-287
- Klatkova H. 1997. Zagłębienia bezodpływowe w Polsce środkowej i przydatność do analizy ich wypełnień do interpretacji paleogeograficznych. *Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geographica Physica* 1: 19-35.
- Klatkova H., Balwierz Z. 1990. Bezodpływowy zbiornik z florą eemską w Modlnej koło Łodzi. *Acta Geographica Lodzianensis* 61: 39-49.
- Klatkova H., Jastrzębska-Mamełka M. 1990. Stanowisko eemskich osadów organicznych w Ślądkowicach koło Łodzi. *Acta Geographica Lodzianensis* 61: 51-58.
- Klatkova H., Winter H. 1990. Interglacja eemski w Ostrowie koło Grabicy. *Acta Geographica Lodzianensis* 61: 59-68.
- Klatkova H., Załoba M. 1991. Kształtowanie budowy geologicznej i rzeźby południowego obrzeżenia Basenu Uniejowskiego. W: W. Stankowski (red.) *Przemiany środowiska geograficznego obszaru Konin-Turek*. Wyd. UAM, Poznań: 33-44.
- Kołaczek P., Karpińska-Kołaczek M., Petera-Zganiacz J. 2012. Vegetation patterns under climate changes in the Eemian and Early Weichselian in Central Europe inferred from a palynological sequence from Ustków (central Poland). *Quaternary International* 268: 9-20.
- Kupryjanowicz M. 2008. Vegetation and climate of the Eemian and Early Vistulian lakeland in northern Podlasie. *Acta Palaeobotanica* 48,1: 3-130.
- Kupryjanowicz M., Granoszewski W., Nalepka D., Pidek I., A., Walanus A., Balwierz Z., Fiłoc M., Kołaczek P., Majecka A., Malkiewicz M., Nita M., Noryskiewicz I.A., Winter H. 2016. Instability of the environment at the end of the Eemian Interglacial as illustrated by the isopollen maps for Poland. *Geological Quarterly* 60,1: 225-237.
- Kuszel T. 1997. Palinostratygrafia osadów interglacjalnego eemskiego i wczesnego vistulianu w południowej Wielkopolsce i na Dolnym Śląsku. *Przegląd Geologiczno-Mineralogiczny* 40: 5-70.
- Kühl N., Litt T., Schölzel C., Hense A. 2007. Eemian and Early Weichselian temperature and precipitation variability in northern Germany. *Quaternary Science Reviews* 26: 3311-3317.
- Lamentowicz M., Balwierz Z., Forsyjak J., Płóciennik M., Kittel P., Kloss M., Twardy J., Żurek S., Pawlyta J. 2009. Multiproxy study of anthropogenic and climatic changes in the last two millennia from a small mire in central Poland. *Hydrobiologia* 631: 213-230.
- Lindner L. 1992. Czwartorzęd. Osady, metody badań, stratygrafia. PAE Warszawa. 1-633
- Mackay J.R. 1992. Lake stability in an ice-rich permafrost environment: examples from western Arctic coast. W: R.D. Robarts, M.L. Bothwell (red.) *Aquatic ecosystems in semi-arid regions: implications for resource management*. N.H.R.I. Symposium Series 7, Environment Canada, Saskatoon: 1-26
- Majecka A. 2014. The palynological record of the Eemian Interglacial and Early Vistulian Glaciation in deposits of the Żabieniec Południowy fossil basin (Łódź Plateau, Central Poland), and its palaeogeographic significance. *Acta Palaeobotanica* 54(2): 279-302.
- Majecka A., Balwierz Z., Forsyjak J., Twardy J. 2016. Eemian and Vistulian (Weichselian) development of the meltout depression on the watershed between the Mroga and Mrożyca Rivers (Central Poland) based on lithological and pollen analysis. *Quaternary International* 1-17. <http://dx.doi.org/10.2016/j.quaint.2016.08.012>
- Manikowska B. 1999. Gleby kopalne i okresy pedogenetyczne w ewolucji środowiska Polski Środkowej po zlodowaczeniu warciańskim. *Acta Geographica Lodzianensis* 76: 41-100.
- Manikowska B. 1993. Mineralogy and abrasion of sands grains due to Vistulian (Late Pleistocene) aeolian process in Central Poland. *Geologie en Mijnbouw* 72: 167-177.
- Marks L., Dzierżek J., Janiszewski R., Kaczorowski J., Lindner L., Majecka A., Makos M., Szymanek M., Tołoczko-Pasek A., Woronko B. 2016. Quaternary stratigraphy and palaeogeography of Poland. *Acta Geologica Polonica* 66(3): 403-427.
- Mojski J.E. 2005. Ziemia polskie w czwartorzędzie. Zarys morfogenezy. PIG, Warszawa. 1-404.
- Mycielska-Dowgiałło E. 2007. Metody badań cech teksturalnych osadów klastycznych i wartość interpretacyjna wyników. W: E. Mycielska-Dowgiałło, J. Rutkowski (red.) *Badania cech teksturalnych osadów czwartorzędowych i wybrane metody oznaczania ich wieku*. Wyd. Szkoły Wyższej Przymierza Rodzin, Warszawa: 95-130.
- Myślińska E. 2001. Grunty organiczne i laboratoryjne metody ich badania. PWN, Warszawa: 1-208.
- Nowacki K. 1990. Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Łyszkowice (592). PIG, Warszawa.
- Nowacki K. 1993. Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Łyszkowice (592). PIG, Warszawa. 1-27.
- Nowak J. 1973. Sytuacja geologiczna osadów jeziornych interglacjalnego eemskiego w Grodzisku Mazowieckim. *Kwartalnik Geologiczny* 17(4): 810-820.
- Ralska-Jasiewiczowa M., Latałowa M., Wasylkowa K., Tobolski K., Madeyska E., Wright H.E., Turner Ch. 2004. Late Glacial and Holocene history of vegetation in Poland based on isopollen maps. Szafer Inst. of Botany, Polish Academy of Science, Kraków: 1-444.

- Roman M. 2016. Pojezierze eemskie: uwagi o genezie i zaniku jezior polodowcowych centralnej Polski. *Acta Geographica Lodziensia* 105: 11-25.
- Rychel J., Karasiewicz T., M., Krześlak I., Marks L., Noryśkiewicz B., Woronko B. 2014. Paleogeography of the environment in north-eastern Poland recorded in an Eemian sedimentary basin, based on the example of the Jałówka site. *Quaternary International* 328–329: 60-73.
- Seret G., Dricot E., Wansard G. 1990. Evidence for an early glacial maximum in the French Vosges during the last glacial cycle. *Nature* 346: 453-456.
- Sobolewska M. 1966. Wyniki badań paleobotanicznych nad eemskimi osadami z Józefowa na Wyżynie Łódzkiej. *Biuletyn Peryglacjalny* 15: 303-312.
- Tobolski K. 2000. Przewodnik do oznaczania torfów i osadów jeziornych. *Vademecum Geobotanicum*, PWN, Warszawa: 1-508.
- Trzmiel B. 1990. Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, ark. Brzeziny (629). PIG, Warszawa.
- Turkowska K. 2006. Geomorfologia regionu łódzkiego. Wyd. UŁ, Łódź: 1-237.
- Twardy J., Żurek S., Forysiak J. (red.) 2010. Torfowisko Żabieniec: warunki naturalne, rozwój i zapis zmian paleoekologicznych w jego osadach. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań: 1-214.
- Wicik B. 1993. Badania laboratoryjne w opracowaniach fizycznogeograficznych. W: A. Rychling (red.) *Metody szczegółowych badań geografii fizycznej*. Wyd. PWN, Warszawa: 28-36.
- Wieczorkowska J. 1976. Rola zagłębień bezodpływowych w rozwoju rzeźby okolic Łodzi. *Acta Geographica Lodziensia* 37: 183-190.
- Woillard G.M. 1978. Grande Pile peat bog: a continuous pollen record for the last 140,000 years. *Quaternary Research* 9: 1-21.
- Żarski M., Hrynowiecka A., Pidek A.I., Kupryjanowicz M., Fiłoc M., Szal M., Stachowicz-Rybka R. 2017a. Geologiczne uwarunkowania pojezierza eemskiego na Równinie Garwolińskiej. XXIV Konferencja Naukowo-Szkoleniowa Stratygrafia Plejstocenu Polski „Czwartorzęd pogranicza niżu i wyżyn w Polsce Środkowej”, 4-8 września 2017 r. Wawrzokowizna k/Bełchatowa: 84
- Żarski M., Winter H., Kucharska M. 2017b. Palaeoenvironmental and climate changes recorded in the lacustrine sediments of the Eemian Interglacial (MIS 5e) in the Radom Plain (Central Poland). *Quaternary International* <https://doi.org/10.1016/qua.2016.12.001>

Summary

Small closed depressions are a common feature of the landscape of Central Poland. Their origin has been connected with various morphogenetic processes but most of these features located in upland areas were formed by buried ice melting during deglaciation after the Warta Stadial. Four sites with clusters of depressions were examined in the Łódź Upland to compare the lithological features of their infillings, both mineral and biogenic ones. The study covers two depressions at the Józefów site, one of which was studied by Dylik (1961, 1967) and interpreted as a pingo remnant. At the Rogów site two depressions were examined and one of them contains biogenic sediments. The next site is Pieńki Bielańskie with two basins. The fourth site is at Żabieniec, which has been described before (among others: Twardy et al. 2010; Majecka 2014) and serves as a reference area containing a number of various depressions. Analysis of the sediments allowed distinguishing four lithological units: U1 – with Warta Stadial glacial sediments, U2 with Late Wartanian periglacial sediments deposited in basins, U3 contains biogenic sediments of the Eemian Interglacial and Early Vistulian, and U4 with Vistulian periglacial sediments. The differentiation of grain size distribution and quartz grain morphoscopy was displayed as well as the basic physicochemical properties of infillings of the selected basins. Biogenic and mineral-biogenic Eemian sediments in some of the studied depressions constitute a major part of the infilling, which determines their greater palaeoecological potential. Some of the depressions do not contain biogenic sediments. It indicates differences in local geological conditions and a different course of the filling in the basins. The basins that contain infilling composed of all lithofacial units developed at the end of the Warta Stadial. They have been subjected to mineral and biogenic deposition in varying climate conditions and at varying denudation rate in the basin catchments until the Plenivistulian.