





Rekonstrukcja zmian paleośrodowiskowych w eemskich zagłębieniach bezodpływowych przedpoła lądolodu ostatniego zlodowacenia na przykładzie stanowiska Stara Maryśka II (Północne Mazowsze, Polska Centralna)

Paleoenvironmental changes reconstruction in the Eemian kettle holes of the last ice sheet glaciation foregrounds on the example of the Stara Maryśka II site (Northern Mazovia, Central Poland)

Joanna Rychel ¹, Dominika Sieradz¹, Barbara Massalska ¹, Karol Standzikowski ²,
Radosław Wasiluk¹, Barbara Woronko ³, Jerzy Nawrocki ^{1,2}

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa

² Instytut Nauk o Ziemi i Środowisku, Uniwersytet Marii Skłodowskiej-Curie, Lublin

³ Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, Warszawa

Zarys treści: Odsłonięta w stanowisku Stara Maryśka II sukcesja osadowa obejmuje górną część interglacjału eemskiego po zlodowacenie wisły. Na podstawie ciągłości zapisu palinologicznego w osadach wypełniających zbiornik odtworzony został przebieg zmian klimatu i środowiska w okresie późnego plejstocenu (MIS5e-MIS2). Wyniki datowań metodą OSL pozwoliły wyróżnić okresy funkcjonowania warstwy czynnej wieloletniej zmarzliny podczas zlodowacenia wisły (MIS4-MIS2), która jest wyznacznikiem warunków peryglacjalnych panujących przed czołem lądolodu. Oznaczony został również czas formowania się wydym w rejonie stanowiska.

Słowa kluczowe: późny plejstocen, zagłębienie bezodpływowe, warunki peryglacjalne, maksymalny zasięg lądolodu zlodowacenia wisły

Abstract: The sedimentary succession exposed in Stara Maryśka II site includes last part of Eemian Interglacial (MIS 5e) to Late Weichselian (MIS2) deposits. On the base of the palynological record in the paleo-lake, the climate and environmental changes during MIS 5e were reconstructed. Optically stimulated luminescence dating of the sands pseudomorphoses of ice wedges made it possible to distinguish periods of increased aeolian activity during the Weichselian glaciation.

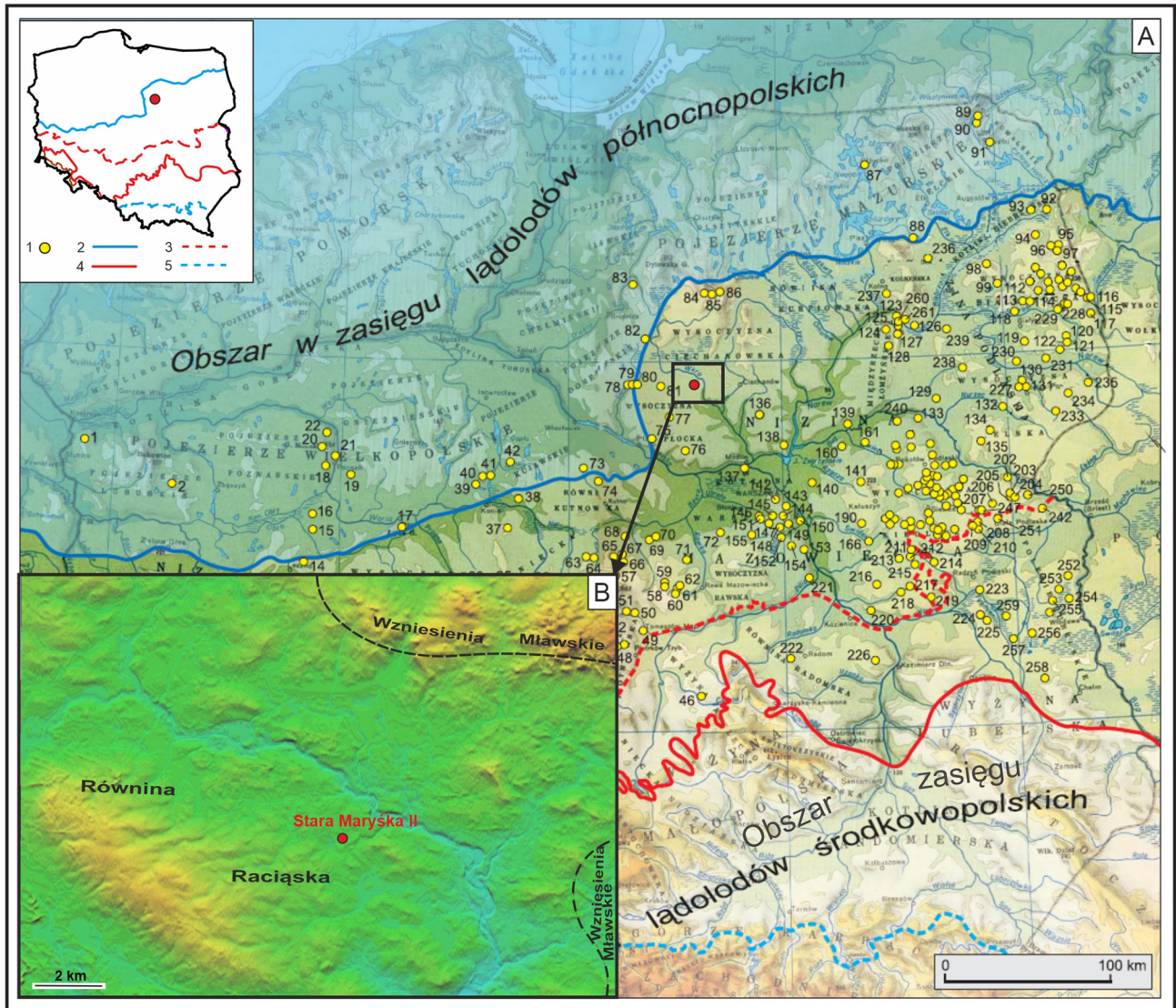
Key words: Late Pleistocene, kettle hole, periglacial conditions, palaeoenvironmental changes, maximum limit of the Weichselian (Vistulian) ice sheet

Wstęp

Na obszarze Niżu Europejskiego (Polska, Niemcy) stanowiska interglacjału eemskiego i wczesnego wistulianu występują zwykle na południe od granicy maksymalnego zasięgu ostatniego zlodowacenia, wisły. Do końca lat 80. ubiegłego wieku, z terenu Polski, znanych było około 100 stanowisk interglacjału eemskiego, zaś obecnie zinventaryzowano ich już

ponad 260 (Bruj, Roman 2007, Roman 2016, Sobczyk i in. 2020) (ryc. 1). Rejon Wysoczyzny Ciechanowskiej jest pod tym względem stosunkowo mało rozpoznany. Najbliżej tego rejonu opisane były stanowiska zlokalizowane w okolicy Nidzicy na Wysoczyźnie Mławskiej (Morawski i in. 1999) oraz Sierpca na Wysoczyźnie Płockiej (Krupiński 2005).

Szczególnie interesujące są stanowiska, w których osady organiczne są nadbudowane osadami mine-



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań na tle podziału fizykogeograficznego (wg Kondracki 2009): A – na mapie rozmieszczenia stanowisk eemskich (za Bruj, Roman 2007); B – na cyfrowym modelu wysokościowym DETD2; 1 – stanowiska flory interglacjału eemskiego, 2 – maksymalny zasięg lądolodu zlodowacenia północnopolskiego, 3 – zasięg lądolodu stadiu warty, 4 – maksymalny zasięg lądolodu zlodowaceń środkowopolskich, 5 – maksymalny zasięg lądolodu zlodowaceń południowopolskich

Fig. 1. Location of the research area on the physical and geographical division (according to Kondracki 2009): A – on the map of the distribution of Eemian sites (after Bruj, Roman 2007); B – digital terrain model DT2; 1 – sites of the Eemian flora, 2 – maximum limit of the Weichselian (Vistulian) ice sheet, 3 – range of the Saalian stage, 4 – maximum limit of the middle polish glaciations, 5 – maximum limit of the south polish glaciations

ralnymi. Geneza tych drugich najczęściej określana jest jako deluwialna (Kupryjanowicz 2008, Wrotek 2008). Opracowania z północnego Podlasia (Rychel i in. 2014, Woronko i in. 2017) i Wyżyny Łódzkiej (Forysiak 2017, Majecka i in. 2019) wskazują na związek tych osadów z warunkami peryglacjalnymi, panującymi na przedpolu lądolodu podczas zlodowacenia (Jahn 1970). Na obszarze Północnego Mazowsza obecność osadów określanych jako peryglacjalne była sygnalizowana w rejonie Czerwińska nad Wisłą (Kopczyńska-Zandarska 1970). Osadom tym przypisywano genezę eoliczną lub stokową.

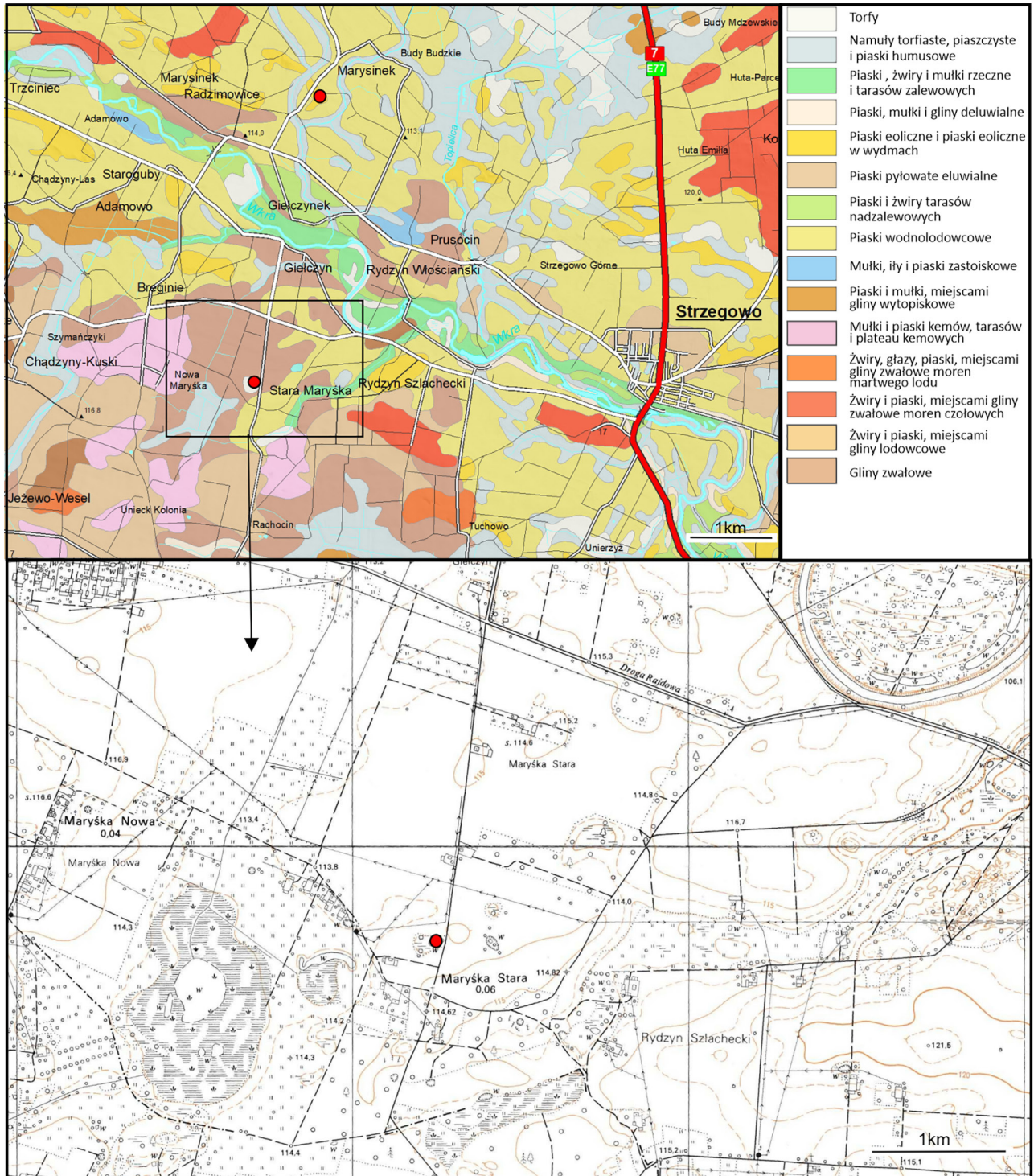
W 2005 roku nieopodal miejsca badań, udokumentowano serię osadów zbiornikowych i torfu o miąższości do 2,0 m (Lichwa 2007). Zapis palinologiczny wskazywał na okres od optimum klimatycznego interglacjału eemskiego po jego schyłek (Bińka 2005). Materiał pochodził z wiercenia. Wykonane odsłonięcie dało możliwość przeprowadzenia bardziej szczegółowych badań.

Podjęte badania miały na celu: a) odtworzenie warunków klimatycznych i środowiskowych w czasie od interglacjału eemskiego po zlodowacenie wisły; b) określenie procesów, które miały miejsce podczas

ostatniego zlodowacenia na obszarze poza zasięgiem ostatniego nasunięcia lądolodu (LGM); c) powiązanie procesów eolicznych, udokumentowanych na badanym stanowisku, z powstawaniem lokalnych form wydmowych.

Obszar badań

Stanowisko Stara Maryśka II, o współrzędnych 52°53'35,9"N i 20°12'41,7"E, leży w północnej części Niziny Mazowieckiej, w obrębie Wysoczyzny Ciechanowskiej, w regionie Równiny Raciąskiej



Ryc. 2. Lokalizacja stanowiska Stara Maryśka II: A – na mapie geologicznej (za Rychel i in. 2012, zmienione); B – mapie topograficznej w skali 1:10 000 w odniesieniu do stanowiska archiwalnego (Geoportal)
 Fig. 2. Location of the Stara Maryśka II site: A – on the geological map (from Rychel et al. 2012, amended); B – on the topographic map at a scale of 1:10,000 in relation to the archival site (Geoportal)

(Kondracki 2009), we wsi o tej samej nazwie, ok. 5 km na W od miejscowości Strzegowo, nieopodal trasy krajowej S7 oraz 3 km na NNE od miejscowości Unieck. Położone jest na wysokości ok. 112,5 m n.p.m. w niewielkim zagłębieniu o wymiarach 80×50 m i owalnym kształcie, wydłużonym w kierunku W–E. Stanowisko zlokalizowane jest w jednym z licznych zagłębieniń usytuowanych na wysoczyźnie zbudowanej z glin zwałowych zlodowacenia odry stadiału warty, w strefie jej kontaktu z piaskami wodnolodowcowymi (Lichwa 2007) (ryc. 2). Znajduje się ono około 0,6 km na ENE od udokumentowanego w 2005 roku stanowiska w Starej Marysce (Bińka 2005). Miąższość osadów czwartorzędowych na tym obszarze sięga około 250 m (Lichwa 2007). W odległości 4 km na północ od stanowiska Stara Maryska II udokumentowana została forma wydymowa (Rychel i in. 2012). Jest to przykład wydmy parabolicznej o względnej wysokości do 2,5 m i długości ramion do 2,5 km, usytuowanej na tarasie rzeki Wkry.

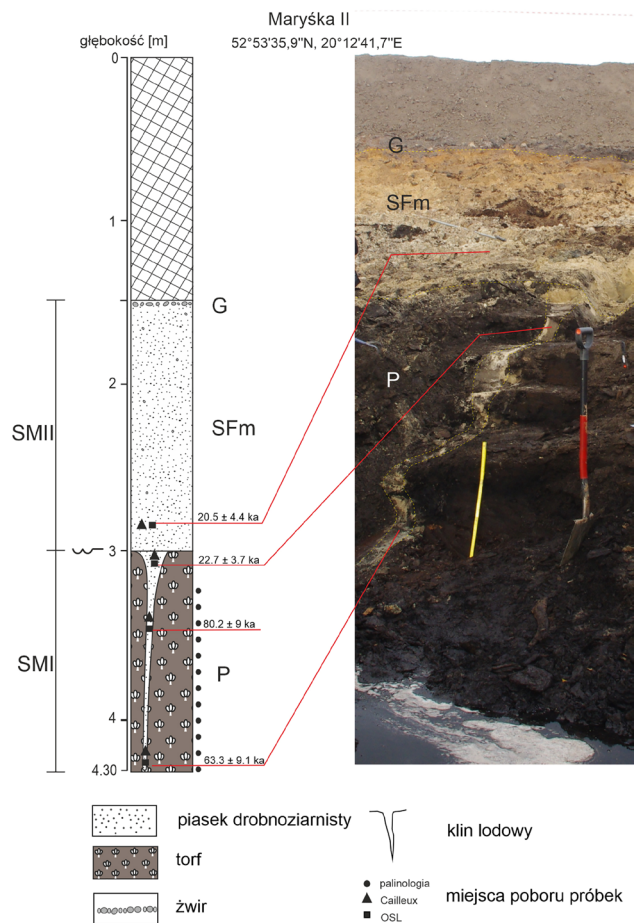
Obszar Północnego Mazowsza był objęty zlodowaczeniami plejstocеныskimi, o czym świadczy zapis poziomów glacialnych (Lichwa 2007). Podłoże osadów plejstocеныskich w tym rejonie stanowią ily, mułki i piaski kwarcowe górnego miocenu (Lichwa 2007).

Metody badawcze

Prace terenowe i opis sedymentologiczny

Podczas prac terenowych wykonano kilka wkopów. W wykonanej odkrywce o ekspozycji wschodniej udokumentowany został profil, o łącznym metrażu: 4,3 m wysokości i 4 m szerokości. Przeprowadzono analizę litofacjalną i strukturalną osadów wypełniających obniżenie. Zostały one podzielone na dwie serie SM I i SM II o łącznej miąższości 2,8 m oraz nadkładzie antropogenicznym o miąższości 1,5 m. Z osadów biogenicznych pobrano materiał do badań palinologicznych z rozdzielczością co 10 cm. Z tych samych głębokości pobrane zostały próbki do analizy pirolitycznej (Rock-Eval). Z głębokości 3,75 m została pobrana fauna do oznaczeń paleozoologicznych. Z osadów mineralnych pobrane zostały 4 próbki do analizy obtoczenia i zmatowienia ziaren kwarcowych oraz 6 próbek do oznaczenia wieku bezwzględnego metodą optycznie stymulowanej luminescencji (OSL).

Analiza sedymentologiczna, która opierała się na makroskopowym rozpoznaniu struktur osadowych i cech strukturalnych, umożliwiła ogólną charakterystykę osadów, co pozwoliło na konstrukcję profilu odsłonięcia (ryc. 3).



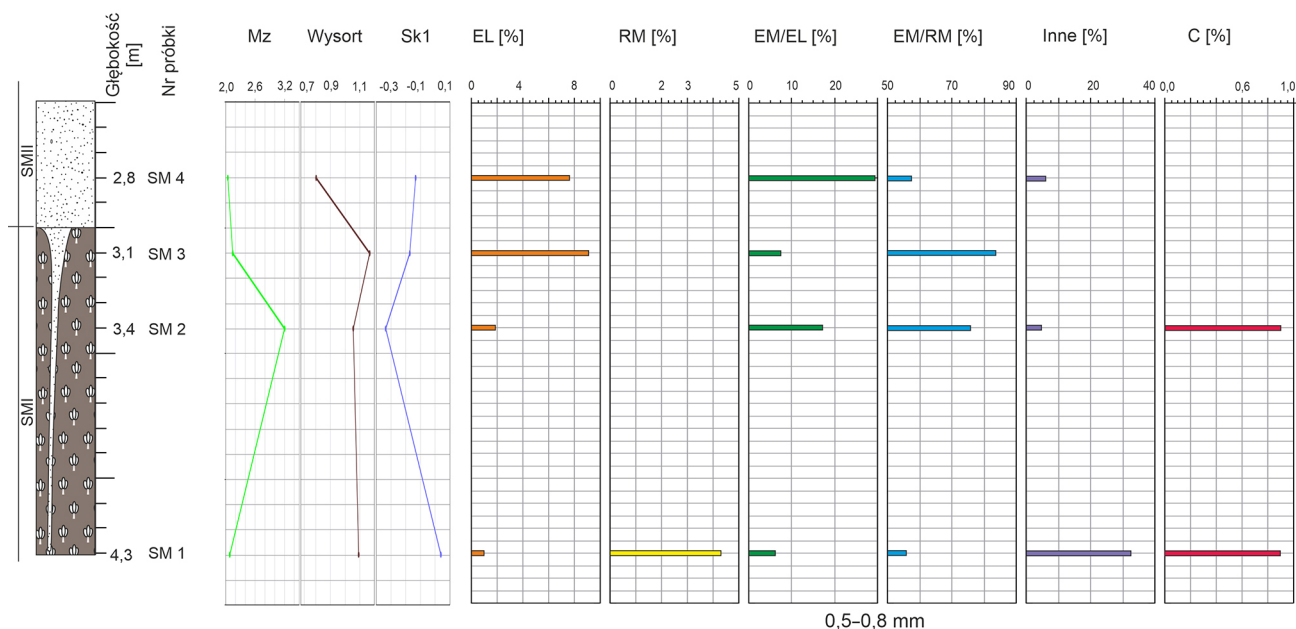
Ryc. 3. Profil osadów na stanowisku Stara Maryska II; objaśnienia symboli litofacji w tekście

Fig. 3. Lithological log of the sediments of Stara Maryska II site; explanations of lithofacies symbols in the text

Badania cech teksturalnych osadów

Analizę uziarnienia osadów wykonano dla 4 próbek z głębokości 4,3, 3,4, 3,1 i 2,8 m (ryc. 4). Wykorzystano metodę kombinowaną sitowo-laserową, tj. analizę sitową wykonano na sucho, stosując zestaw sit w zakresie frakcji od 2,0 do 0,1 mm, a dla frakcji poniżej 0,1 wykorzystano miernik laserowy Analysette 22 firmy Fritsch. Na podstawie uzyskanych wyników obliczono statystyczne wskaźniki uziarnienia wg wzorów Folka i Warda (1957): średnią średnicę ziaren (Mz), odchylenie standardowe (σ_i) będące miarą wysortowania osadów oraz skośność (Sk_1). W tym celu wykorzystano program komputerowy GRADISTAT_5_11_PL_beta.

Obtoczenie i zmatowienie ziaren kwarcu w piasku (0,5–0,8 mm) badano w oparciu o metodę opisaną przez Cailleux (1942) w modyfikacji Mycielskiej-Dowgiałło i Woronko (1998). Analiza ta łączy stopień obtoczenia ziaren kwarcowych wg 9-stopniowej skali Krumbeina (1941) oraz charakter ich powierzchni. Na tej podstawie wyróżnia się siedem typów powierzchni ziaren kwarcowych we frakcji piaszczystej:



Ryc. 4. Wyniki analizy uziarnienia oraz morfoskopii ziaren kwarcu osadów wypełnienia klina lodowego i jego nadbudowy; opis litologii jak na ryc. 3

Fig. 4. The results of grain size analysis and morphoscopy of quartz grains of ice wedge filling deposits and its covers; description of the lithology as in Fig. 3

- NU – ziarna świeże, o ostrych krawędziach i narożach, bez śladów jakiegokolwiek obróbki, o stopniu obtoczenia 0,1–0,2;
- RM – ziarna okrągłe i całkowicie matowej powierzchni (0,7–0,9), reprezentujące środowisko eoliczne;
- EL – ziarna okrągłe błyszczące (0,7–0,9), pochodzące ze środowiska wysokoenergetycznego plażowego lub fluwialnego;
- EM/RM – ziarna o zmatowionych krawędziach i narożach i pośrednim stopniu obtoczenia (0,3–0,6). Ich powierzchnia była kształtowana przez relatywnie krótki czas w środowisku eolicznym;
- EM/EL – ziarna błyszczące, o pośrednim stopniu obtoczenia (0,3–0,6). Reprezentują środowisko wysokoenergetyczne plażowe lub fluwialne;
- INNE – ziarna o różnym stopniu obtoczenia, których powierzchnia jest efektem intensywnego wietrzenia chemicznego i mechanicznego;
- C – pęknięte, w których ubytek powierzchni wynosi, co najmniej 30%

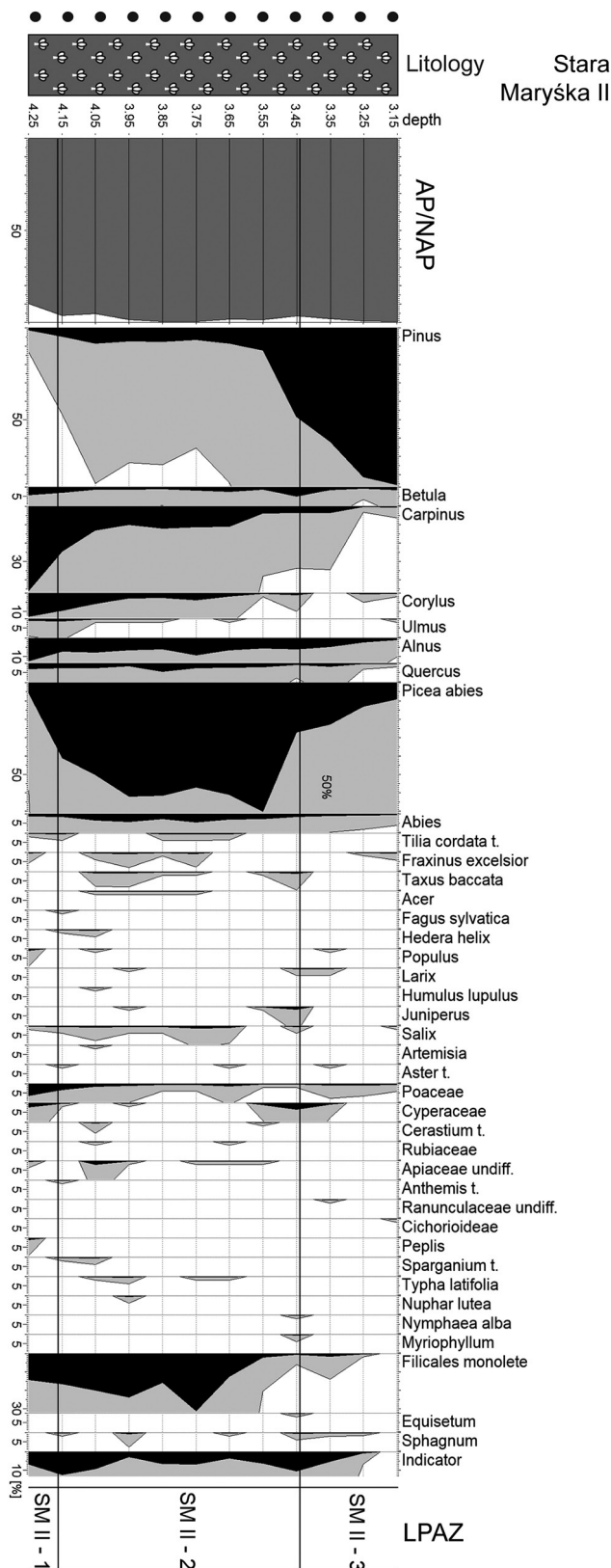
O przynależności ziaren do poszczególnych typów decyduje ostatni proces modelujący ich powierzchnię, np. abrazja postępująca w czasie transportu osadów, bądź też procesy wietrzenia (chemicznego lub mechanicznego).

Analizy biostratygraficzne

Analizę palinologiczną wykonano dla serii osadów biogenicznych (ryc. 5). Z serii torfowej pobrano 12 prób (w interwale co 10 cm) o objętości 1 cm³ i pod-

dano je procesowi maceracji. Do każdej próby dodano 1 tabletkę wskaźnikową ze sporamizami *Lycopodium* (Stockmarr 1971). Każdą próbę poddano działaniu 7% HCl i 10% KOH. Ostatecznie osad został podany zmodyfikowanej procedurze acetolizy Erdtmanna (Moore i in. 1991). Maceraty zostały zabezpieczone gliceryną bezwodną. Ze względu na to, iż osad był niemal całkowicie pozbawiony części mineralnej zrezygnowano z procesu związanego z użyciem cieczy ciężkiej (ZnCl₂), wykonywanym w celu jej usunięcia. Po czynnościach związanych z preparatyką laboratoryjną z maceratów wykonano preparaty palinologiczne. Do zliczania ziaren pyłku i zarodników użyto mikroskopu optycznego Zeiss Axioscop. W każdej próbie zliczano do minimum 500 ziaren pyłku drzew, krzewów i roślin zielnych. Wszystkie ziarna były identyfikowane przy pomocy kluczy palinologicznych (Faegri, Iversen 1978, Moore i in. 1991, Reille 1992, Beug 2004). Wyniki analizy palinologicznej przedstawiono w formie tabeli (tab. 1) i diagramu (ryc. 5) wygenerowanego przy pomocy programu POLPAL (Walanus, Nalepka 1998, Walanus, Nalepka 1999). Podstawą kalkulacji jest suma ziaren pyłku drzew i krzewów (AP) oraz roślin zielnych i krzewinek (NAP). Pozostałe mikroskamieniałości, takie jak pyłek roślin wodnych czy zarodniki Filicales monolety były obliczane w stosunku do podstawowej sumy.

Analiza faunistyczna dotyczy obserwacji makroskopowych, które wykazały obecność szczątków kopalnych chrząszczy w pojedynczym poziomie torfowym na głębokości 3,75 m. Okazy zostały sfotogra-



Ryc. 5. Procentowy diagram palinologiczny osadów organicznych ze stanowiska Stara Maryńska II. Opis litologii jak na ryc. 3

Fig. 5. Percentage palynological diagram of organic sediments from the Stara Maryńska II site. Description of the lithology as in Fig. 3

fowane (por. ryc. 6) oraz opisane i zidentyfikowane taksonomicznie do poziomu rodzaju na podstawie dostępnej literatury.

Analiza pirolityczna (Rock-Eval)

Do celów analizy pobrano 12 próbek z tych samych głębokości co do badań palinologicznych. Z pomocą analizatora Vicinity Technologies Rock Eval 6 Turbo wyznaczono podstawowe parametry materii organicznej (SI; ryc. 7). Badania przeprowadzono w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym (Warszawa). Próbki suszono na powietrzu w laboratorium, homogenizowano za pomocą młynka agatowego i przesiano w celu usunięcia większych resztek pozostawionych w próbce. Następnie każdą próbkę poddano dwufazowemu programowi w aparacie Rock-Eval według metody opisanej przez Behara i in. (2001). Podczas fazy pirolizy analizowana próbka jest podgrzewana przez pewien czas w atmosferze obojętnej (N_2) w warunkach izotermicznych $300^\circ C$, które następnie są zwiększane do $650^\circ C$ z szybkością $25^\circ C/min$. W fazie utleniania próbka jest spalana (N_2/O_2 ; 80/20) w warunkach temperatury stopniowo wzrastających od $300^\circ C$ do $850^\circ C$ ($20^\circ C/min$). Przyrząd wykorzystuje detektor płomieniowo-jonizacyjny (FID) i detektory podczerwieni (IR) do pomiaru rodzaju i ilości gazów, uwalnianych z próbki na odpowiednich etapach przebiegu. Na potrzeby niniejszego opracowania wzięto pod uwagę następujące parametry i wskaźniki Rock-Eval: (1) TOC (% wag.) – całkowity węgiel organiczny, który jest określany ilościowo na podstawie ilości gazów (węglowodory, CO , CO_2), (2) MinC (wt%) – węgiel mineralny, obliczony na podstawie ilości gazów pochodzenia mineralnego (CO , CO_2) wytworzonych ze składników mineralnych próbki podczas zarówno fazy pirolizy, jak i utleniania, (3) S1 (mg HC/g skały) – ilość węglowodorów uwolnionych podczas izotermicznego ($300^\circ C$) etapu pirolizy; (4) S2 (mg HC/g skały) – ilość węglowodorów uwolnionych ze skały podczas fazy wzrostu temperatury pirolizy; (5) HI (mg HC/g TOC) – indeks wodorowy, czyli ilość produktów węglowodorowych uwalnianych podczas pirolizy, znormalizowana do TOC; (6) OI (mg CO_2/g TOC) – indeks tlenowy, czyli ilość CO i CO_2 uwalnianych podczas pirolizy, znormalizowana do TOC.

Oznaczenia wieku bezwzględnego

Datowaniu metodą Optycznie Stymulowanej Luminescencji (OSL) poddano 6 próbek. Trzy z nich pobrane zostały z piaszczystego wypełnienia klina lodowego z głębokości 4,3, 3,4, 3,1, jedna z warstwy nadbudowującej klin z głębokości 2,8 m oraz 2 z pobliskiej wydmy z głębokości 1,0 m i 3,0 m. Datowania zostały wykonane w Instytucie Nauk o Ziemi

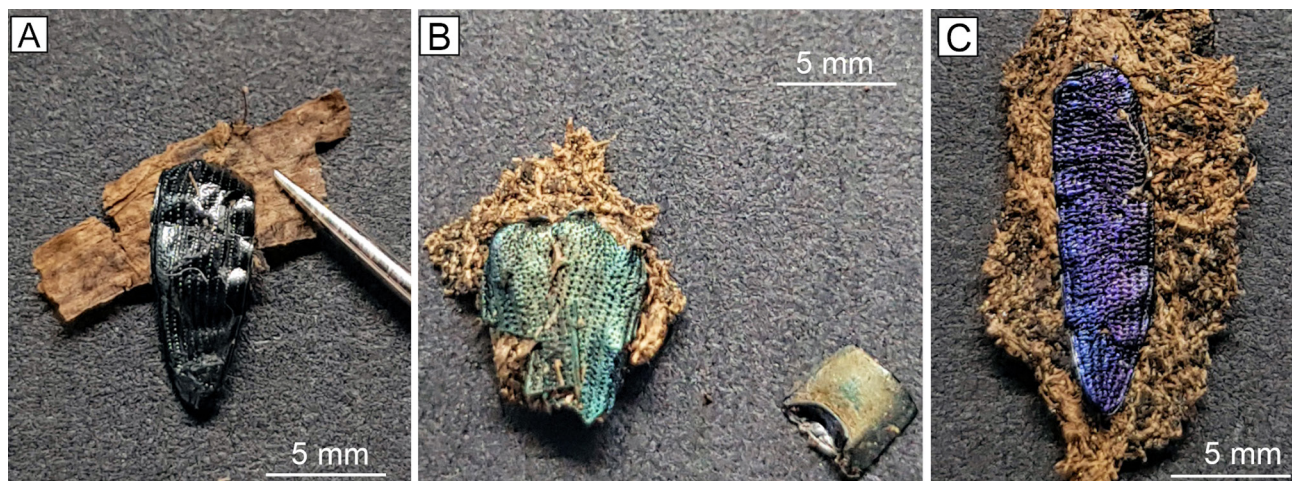
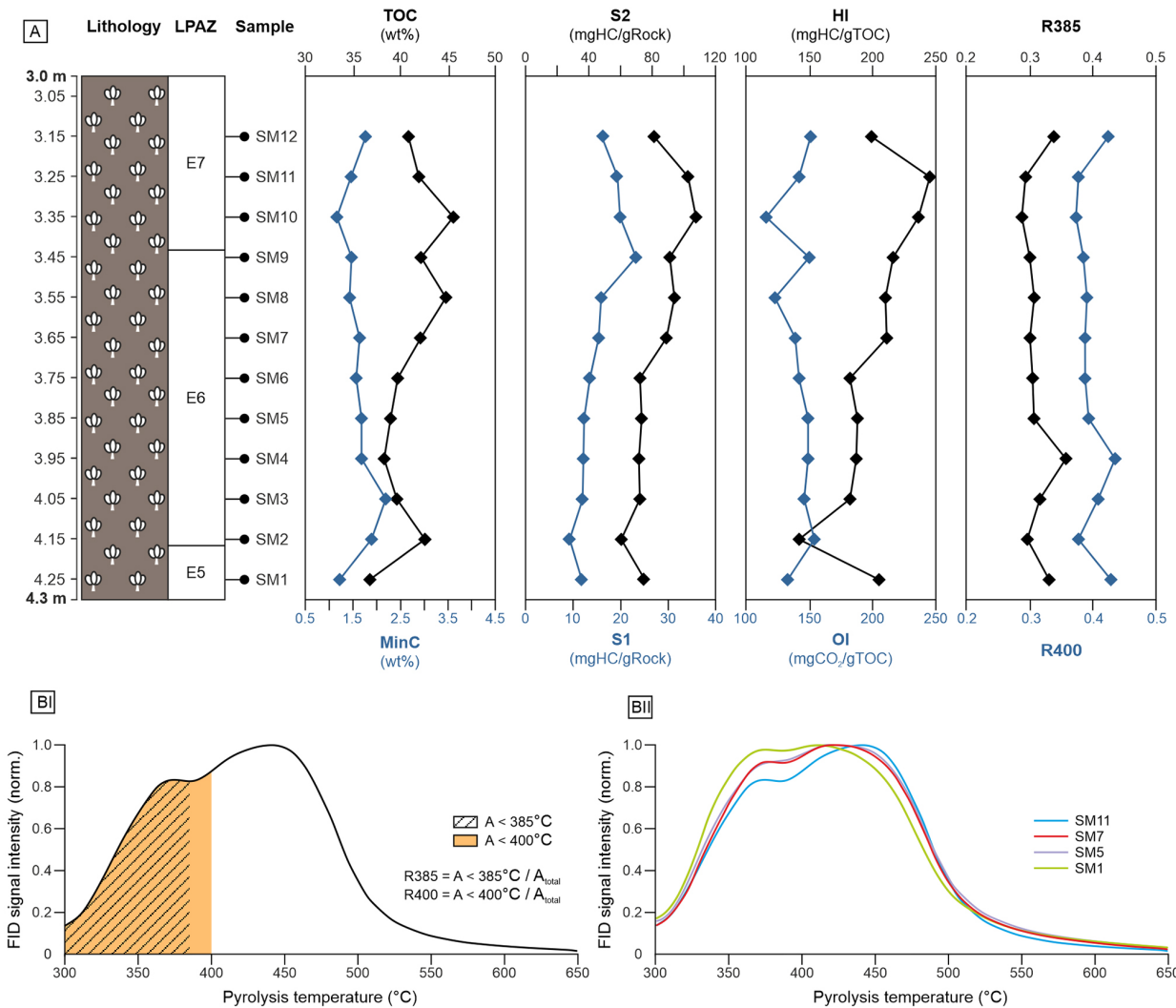

 Ryc. 6. Fragmenty pancerzy chrząszczy z rodzajów: A – *Gyrinus*, B – *Donacia*, C – *Plateumaris*

 Fig. 6. Fragments of carapace of beetles of the following species: A – *Gyrinus*; B – *Donacia*; C – *Plateumaris*

Tabela 1. Charakterystyka lokalnych poziomów pyłkowych (LPAZ) z osadów serii SM I

Table 1. Characteristics of local pollen zones (LPAZ) from sediments of the SM I series

Lokalne poziomy pyłkowe L PAZ	Regionalne poziomy pyłkowe R PAZ (wg Mamakowa 1988)	Głębokość (m)	Opis
L PAZ SM II – 3 <i>Pinus</i>	E7	3,15–3,44	Głównym udziałowcem jest pyłek <i>Pinus</i> , którego wartości gwałtownie rosną i dochodzą do 86%. <i>Betula</i> po niewielkiej kulminacji na granicy z LPAZ SM II – 2 spada i utrzymuje jednakowe wartości na poziomie 2%. Udział pyłku <i>Picea</i> spada stopniowo z 26% do 9%. Wartości <i>Carpinus</i> , <i>Alnus</i> , <i>Quercus</i> , <i>Abies</i> również spadają. <i>Corylus</i> niemal całkowicie znika z zapisu. Notowane są jeszcze pojedyncze ziarna <i>Fraxinus</i> , <i>Ulmus</i> , <i>Salix</i> , <i>Populus</i> , <i>Larix</i> . Z roślin zielnych cały czas notowane są ziarna traw w niewielkich ilościach (ok. 1%). Oprócz tego znajdowane są pojedyncze ziarna Cyperaceae, Ranunculaceae undiff., Cichorioideae, Asteraceae. Zarodniki Filicales monolete i <i>Sphagnum</i> notowane są w dolnej części poziomu, przy czym ich wartości są bardzo niskie (1–2%), a pod koniec znikają z zapisu.
L PAZ SM II – 2 <i>Picea</i> – <i>Abies</i> – <i>Alnus</i>	E6	3,44–4,16	W tej strefie <i>Picea</i> i <i>Abies</i> osiągają swoje maksimum. Wartości <i>Picea</i> dochodzą do 70% w centralnej części poziomu, po czym jego udział maleje. Krzywa <i>Abies</i> również zwiększa się do max 5%, po czym, pod koniec strefy jego udział maleje. <i>Alnus</i> i <i>Quercus</i> utrzymują niemal cały czas stałe wartości. Spada udział pyłku <i>Carpinus</i> (z 27% do 4%) i <i>Corylus</i> (z 10% do 1%). <i>Pinus</i> początkowo utrzymuje stałe wartości (ok 7%), po czym pod koniec strefy zaczynają gwałtownie rosnąć aż do 50%. <i>Ulmus</i> niemal całkowicie znika z zapisu w połowie poziomu. Notowane są ziarna <i>Tilia cordata</i> t., <i>Fraxinus</i> , <i>Taxus</i> , <i>Acer</i> , <i>Fagus</i> , <i>Hedera helix</i> , <i>Salix</i> . Na granicy z L PAZ SM II – 3 pojawia się pyłek <i>Juniperus</i> . Z roślin zielnych największy udział mają trawy (1%) i Cyperaceae, których niewielki rozkwit następuje pod koniec poziomu. Dodatkowo notowane są <i>Cerastium</i> , Rubiaceae, Apiaceae, a z roślin wodnych również <i>Sparganium</i> , <i>Typha latifolia</i> , <i>Nuphar lutea</i> , <i>Nymphaea alba</i> i <i>Myriophyllum</i> . Filicales monolete przeżywają swój największy rozkwit z dwiema kulminacjami (24% i 31%) po czym ich udział drastycznie spada do 1%. Notowane są również pojedyncze zarodniki <i>Sphagnum</i> .
L PAZ SM II – 1 <i>Carpinus</i> – <i>Corylus</i> – <i>Alnus</i>	E5	4,16–4,24	Poziom charakteryzuje się dużym udziałem pyłku <i>Carpinus</i> (47%), <i>Corylus</i> (13%) i <i>Alnus</i> (12%) i są to najwyższe notowane wartości tych taksonów w całym profilu. Z pozostałych drzew w niskich wartościach pojawia się jest pyłek <i>Pinus</i> , <i>Betula</i> , <i>Ulmus</i> , <i>Quercus</i> , <i>Abies</i> , <i>Tilia cordata</i> t. i <i>Salix</i> . Z roślin zielnych największy udział mają ziarna pyłku traw (Poaceae – 7%) i turzyc (Cyperaceae – 3%), lecz ich udział stopniowo maleje. Duży udział w spektrum mają Filicales monolete (14–15%). Górną granicę tego poziomu wyznacza znaczny wzrost udziału pyłku <i>Picea abies</i> i mocny spadek <i>Carpinus</i> oraz Poaceae.



Ryc. 7. A – Pionowy rozkład wartości parametrów Rock-Eval; B – sygnał FID zmierzony podczas pirolizy Rock-Eval: S1,5,7 i 11 – pirogramy obserwowane w profilu torfu Stara Maryńska II; opis wydzieleni litologicznych na ryc. 3
 Fig. 7. Vertical distribution of Rock-Eval parameter values; B – FID signal measured during Rock-Eval pyrolysis: S1, 5, 7 and 11 – pyrograms observed in the Stara Maryńska II peat profile; description of lithological precipitates in Fig. 3

Tabela 2. Zestawienie wyników datowań OSL z próbek ze stanowiska Stara Maryńska II i Giełczynek
 Table 2. List of OSL dating results from samples from the Stara Maryńska II and Giełczynek sites

Lp.	Nazwa stanowiska	Próbka (głębokość) [m]	Nr lab. LUB	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²²⁸ Th	Dawka roczna	Dawka efektywna	Wiek ka BP
							d _r [Gy/ka]	OSL d _e [Gy]	OSL [ka]
1.	Stara Maryńska 2019	OSL_1_2019 (4.3)	6593 1	290±7	11.90±1.62	8.82±0.76	1.28±0.18	81.02±2.41	63.3±9.1
2.		OSL_2_2019 (3.4)	6594 2	435±8	20.52±2.29	18.28±1.03	2.12±0.23	169.95±4.89	80.2±9.0
3.		OSL_3_2019 (3.1)	6595 3	327±8	7.39±1.81	7.39±1.81	1.46±0.23	33.14±1.29	22.7±3.7
4.		OSL_4_2021 -2,8	SM 2021 4	193±5	5.54±1.53	8.14±0.81	0.94±0.20	19.30±0.50	20.5±4.4
	Gieł. 2021	OSL1_2021 (1.0)	5	182±5	9.73±1.33	4.99±0.68	0.94±0.16	16.55±0.42	17.6±3.0
		OSL2_2021 (3.0)	6	183±6	9.19±1.68	5.85±0.67	0.96±0.19	18.26±0.46	19.0±3.8

i Środowisku Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie przy zastosowaniu techniki post-IR IRSL dla frakcji 45–56 μm ziaren polimineralnych. Próbkę o masie 600–800 g suszono w laboratorium, umieszczano w zlewkach Marinelli i umieszczano w komorze ochronnej trzykanałowego spektrometru promieniowania gamma typu MAZAR-95 i MAZAR-01 (prod. Polon IZOT Warszawa). Zmierzono stężenia izotopów Ra, Th i K (tab. 2). Każda próbka była analizowana od 40 do 100 razy w spektrometrze, a każdy pomiar trwał 2000 sekund. Stężenia ^{226}Ra , ^{228}Th i ^{40}K przeliczono na dawki – alfa (da), beta (db) i gamma (dg) – wykorzystując współczynniki przeliczeniowe Adamca i Aitkena (1998). Średnie wartości obliczono dla frakcji uziarnienia 45–56 μm dla IRSL post-IR i 45–63 μm dla OSL. Dawkę promieniowania kosmicznego (dc) w miejscu pobierania próbek obliczono zgodnie z Prescott i Hutton (1994). Dawka (dr) to suma dawek promieniowania alfa, beta, gamma i kosmicznego (tab. 2) (Fedorowicz i in. 2018).

Wyniki

Litologia

W odsłonięciu Stara Maryśka II odsłaniają się osady biogeniczne i mineralne o łącznej miąższości 2,8 m, które podzielono na dwie serie SM I i SM II (ryc. 3).

W dnie odsłonięcia udokumentowana została seria SM I, którą stanowi torf (P) turzycowy barwy brunatno-czarnej z licznymi makroszczałkami flory i fauny o miąższości 1,30 m. W obrębie serii SM I, na całej jej długości występuje pseudomorfoza po klinie lodowym zwężająca się ku dołowi o szerokości od ok. 15 do ok. 7 cm. Jest ona wtórnie wypełniona materiałem drobnopiaszczystym i sięga do stropu serii SM I (ryc. 8). Seria SM II o miąższości 1,5 m, nadbudowuje serię SM I i wykształcona jest w postaci piasków drobnoziarnistych z pojedynczym, drobnym, żwirem, o masywnej strukturze (SFm). W stropie serii SM II występuje bruk żwirowy (G) o średnicy do 5 cm. Całość przykrywa nasyp o miąższości około 1,5 m.

Uziarnienie osadów

Osady wypełniające klin lodowy są wykształcone w postaci piasków bardzo drobnoziarnistych o średniej średnicy ziaren (M_z) mieszczącej się w przedziale 3,17–2,11 ϕ i odznaczających się słabym wysortowaniem. Serię MS II budują również osady bardzo drobnopiaszczyste ($M_z = 2,08$) o nieco lepszym, bo umiarkowanym wysortowaniu.

Morfoskopia ziaren kwarcu

Wyniki analizy Cailleux (1942) z późniejszymi modyfikacjami, wykonano dla 4 próbek ze stanowiska Stara Maryśka II. We wszystkich 4 próbkach w obu analizowanych frakcjach, wyraźnie dominują ziarna EM/RM. Ich udział jest wyższy we frakcji 0,8–1,0 mm, niż 0,5–0,8 mm i wynosi od 88,2 do 95,9 %. Ponadto, w tej frakcji rejestruje się niewielkie ilości ziaren RM, których udział wynosi od 1,7% w próbce nr 4 do 4% w próbce nr 1. Statystykę uzupełniają ziarna EM/EL oraz INNE. Jedynie w próbkach 1 i 2 zarejestrowano ziarna pęknięte (C), ale występują one w symbolicznych ilościach. Cechą charakterystyczną wszystkich próbek jest wysoki stopień obtoczenia i obróbka eoliczna, jedynie nieznacznie modyfikująca charakter powierzchni, tym samym wskazując, że kształt badane ziarna odziedziczyły po innych środowiskach. Jednocześnie obecne w próbce ziarna skalenia wykazują wysoki stopień obtoczenia, co niewątpliwie nastąpiło już w środowisku eolicznym.

Natomiast we frakcji 0,5–0,8 mm, podobnie ziarna typu EM/RM stanowią najwyższy komponent, ale ich udział jest niższy, niż dla tych samych próbek we frakcji 0,8–1,0 mm. Stanowią one od 55,6% w próbce nr 1 do 83,6% w próbce nr 3. Ponadto badane próbki charakteryzuje wysoki udział ziaren typu EM/EL. Osiągają one nawet 29,5%, podczas gdy we frakcji 0,8–1,0 mm ich udział nie przekracza 11,4% (próbka nr 2). We frakcji 0,5–0,8 mm, towarzyszą im ziarna EL. Ich udział dochodzi do 10%. Statystykę uzupełniają ziarna INNE. Szczególnie wysoki udział tego typu ziaren zarejestrowano w próbce nr 1. Ponadto, ziarna niekwarcowe, mają różny stopień obtoczenia, ale dominują ziarna o jedynie zaokrąglonych narożach i krawędziach. Stopień przekształcenia powierzchni ziaren w środowisku eolicznym jest niewielki. Mikrorzeźba eoliczna jedynie w niewielkim stopniu maskuje wcześniejszą mikrorzeźbę.

Analiza palinologiczna

Wyniki analizy palinologicznej przedstawiono na diagramie (ryc. 5). Na podstawie wyników z 12 próbek wyróżniono 3 lokalne poziomy pyłkowe L PAZ: SM II – 1, SM II – 2, SM II – 3 (Sieradz, 2020). Opis poszczególnych poziomów zawiera tabela 1.

Analiza faunistyczna

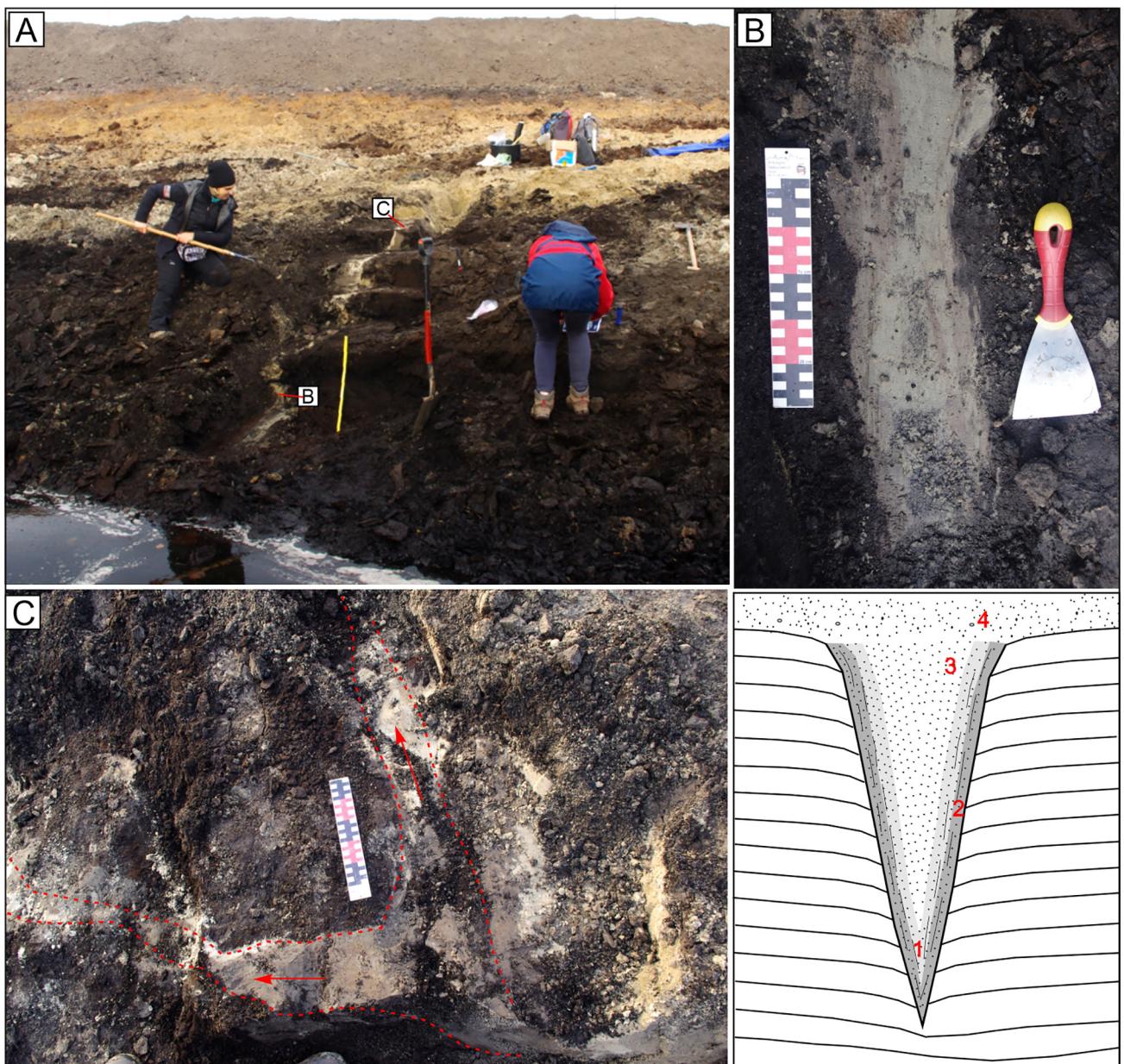
Obserwacje makroskopowe profilu torfowego ujawniły szczątki pancerzy owadów należących do trzech odrębnych rodzajów rzędu Coleoptera (chrząszczy) typowych dla środowisk torfowych (Massalska 2020). Pierwszym okazem jest prawa elytra (ryc. 6A)

drapieżnego chrząszcza wodnego z rodzaju *Gyrinus*. Dwa okazy stanowią odpowiednio prawą elytrę oraz górny fragment obu elytr wraz z kompletną tarczką (ryc. 6B) chrząszczy przypisanych do rodzaju *Donacia*. Cztery okazy to prawa elytra (ryc. 6C) chrząszcza rodzaju *Plateumaris*. Chrząszcze rodzajów *Donacia* i *Plateumaris* należące do podrodziny *Donaciinae*, których cykl życiowy jest ściśle powiązany z roślinnością mokradeł. Chrząszcze *Plateumaris* żerują przede wszystkim na trzcinie pospolitej (*Phragmites communis*) i turzycach (*Cyperaceae*), ale również na roślinach z rodziny sitowatych (*Juncaceae*), tataraku zwyczajnym (*Acorus calamus*), kaczeńcu błotnym

(*Caltha palustris*) oraz roślinach z rodziny kosaćcowatych (*Iridaceae*). Podobnie, rośliny żywicielskie chrząszczy z rodzaju *Donacia*, to trzciny, sita i turzycy, ale także rośliny rodziny grzybieniowatych (*Nymphaeaceae*; Askevold 1990; Arnett et al. 2002).

Analiza pirolityczna (Rock-Eval)

Analiza, której celem było uchwycenie zmian zachodzących w obrębie zbiornika podczas depozycji torfu, miała charakter eksperymentalny. Pirogramy analizowanych próbek mają podobny kształt i liczbę zarejestrowanych pików. We wszystkich przypadkach



Ryc. 8. A – Widok odsłonięcia Stara Maryśka II; B – piaszczyste wypełnienie klina lodowego; C – struktury wypełnień klinów mrozowych dokumentujące sieć spękań kontrakcji termicznej, D – schemat wypełnienia klina
 Fig. 8. A – View of the of Stara Maryśka II outcrop; B – sandy filling of the ice wedge; C – frost wedge filling structures documenting a network of thermal contraction cracks, D – wedge filling scheme

część sygnału FID zarejestrowana jako pik S2 wykazuje rozkład bimodalny, z maksimumami odpowiednio przy około 375°C i 425–445°C. Lokalne minimum uplasowało się w okolicach 385°C. Otrzymane wartości parametrów wykazują stosunkowo niewielki stopień zróżnicowania. Wartości TOC są wysokie, biorąc pod uwagę biogeniczne pochodzenie osadów i mieszczą się w zakresie od 36,8 do 45,6% wagowych. Udział węgla mineralnego jest bardzo niski i stosunkowo stały w całym profilu, średnio na poziomie 1,6% wag. z odchyleniem standardowym 0,27. Wartości S1 i S2 są podwyższone i wynoszą odpowiednio 9,3–23,3 mg HC/g skały i 60,5–107,7 mg HC/g skały. Średnia T_{max} wynosząca 374°C, bimodalny kształt pirogramów (ryc. 7) oraz niewielka głębokość są zgodne z niedojrzałym charakterem materii organicznej. Obserwowane wartości HI (142–245 mg HC/g TOC) i OI (116–154 mg CO₂/g TOC) wskazują na lądową materię organiczną pochodzącą głównie ze szczątków roślin naczyniowych (Dembicki 2017). Analiza danych w funkcji głębokości (ryc. 7) ujawnia subtelne, ale widoczne przejście zachodzące na głębokości pomiędzy 3,75 (SM6) a 3,65 (SM7) m, mniej więcej w połowie profilu torfu. Próbkę z górnej połowy przekroju (SM12 – SM7) wykazują wartości TOC powyżej 40% wagowych. (średnio 42,9% wagowych), wartości S1 powyżej 15 mg HC/g skały (18,3 mgHC/g średnio) i wartości S2 powyżej 81 mg HC/g skały (94,3 mgHC/g średnio), podczas gdy w próbkach z dolnej połowy profilu (SM6-SM1) wartości TOC są przeważnie poniżej 40% wagowych (39,3% wagowych średnio), wartości S1 są poniżej 14 mg HC/g skały (11,9 mg HC/g skały śr.) i wartości S2 są poniżej 76 mgHC/g (70,9 mgHC/grock średnio). Próbkę z dolnej połowy profilu nie wykazują wyraźnej tendencji, pozostając względnie spójne do głębokości 3,75 m, z jedynie niewielkimi perturbacjami odnotowanymi w próbce SM2 (4,15 m). W połowie profilu parametry nieznacznie się zmieniają, a wartości TOC, S1 i S2 wykazują ogólną rosnącą tendencję wzrostową, uzyskując maksimum w próbkach SM9 (S1) i SM10 (TOC, S2), po niewielkim spadku w dwóch najwyższych próbkach. Bardzo podobne przesunięcie odnotowuje się dla wartości HI i OI. Próbkę z głębokości 3,75–4,25 m wyraźnie wykazują niższe wartości HI (181 mg HC/g TOC śr.) i nieco wyższe OI (146 mg CO₂/g TOC śr.) w porównaniu z próbkami z głębokości 3,15–3,65 m (HI = 220 mg HC/g TOC śr.; OI = 137 mg CO₂/g TOC śr.). Ponadto, wyłączając próbkę SM2, w której obserwuje się znaczny spadek wartości HI, zarówno wartości HI, jak i OI są względnie stałe w dolnej połowie profilu torfu. Jednak w górnej połowie odcinka wartości HI stopniowo rosną, a wartości OI zaczynają się wahać. Maksymalną wartość HI obserwuje się w próbce SM11, po czym następuje nieznaczny spadek wartości wskaźnika w próbce najwyższej.

Porównanie otrzymanych wartości TOC, S1, S2, HI i OI z dostępnymi danymi literaturowymi (De-laure i in. 2011) pozwoliło na sformułowanie hipotezy potencjalnie wyjaśniającej obserwowany przebieg krzywych parametrów Rock-Eval. Dolna połowa badanego odcinka torfu wykazuje charakterystykę parametru Rock-Eval porównywalną z torfem powstającym w torfowisku niskim, zasilanym przez wody gruntowe, bogate w składniki mineralne. Takie torfowiska są całkowicie lub częściowo pokryte wodą i zdominowane przez trawy, turzycę i trzcinę. Górna część profilu wykazuje zmianę parametru, którą można wiązać z transformacją w torfowisko wysokie, które zasilane jest opadami, o kwaśnym odczynie oraz ubogie w składniki odżywcze i mineralne. Takie torfowiska są porastane przez kruche i karłowate drzewa i mchy. Unikalna chemia wody torfowisk wysokich wynika z dopływu wód gruntowych lub powierzchniowych.

Datowania OSL

Wyniki datowania OSL, wykonanych dla próbek pobranych z wypełnienia klina w serii SM I, wynoszą: 63,3±9,1 ka z gł. 4,3 m, 80,2±9,0 ka z gł. 3,4 m i 22,7±3,7 ka gł. 3,1 m zaś datowanie próbki pobranej z gł. 2,8 z serii SM II dało wynik 20,5±4,4 (tab. 2). Przy rozważaniach stratygraficznych uwzględniono również wyniki datowania wykonane dla pobliskiej wydmy w Gielczyńku, które wyniosły: 17,6 ±3,0 z głębokości 1,0 m i 19,0±3,8 z głębokości 3,0 m. Dołączona adnotacja laboratorium, odnośnie zanieczyszczenia próbki z gł. 3,4 m sugeruje możliwość pobrania materiału z najbardziej brzeżnej (najstarszej) strefy wypełnienia klina (ryc. 8).

Interpretacja i dyskusja

Na podstawie otrzymanych wyników badań dokonano próby rekonstrukcji klimatu i środowiska dla obszaru otoczenia zbiornika. Wydzielono pięć etapów jego rozwoju.

I. Interglacja Eemski

Akumulacja osadów organicznych rozpoczęła się w małym zbiorniku na wysoczyźnie, który powstał prawdopodobnie w wyniku wytopienia niewielkiej bryły martwego lodu po ustąpieniu lądolodu zlodowacenia odry, stadiału warty (MIS6).

Spektrum pyłkowe opracowanego profilu osadów organicznych ze stanowiska Stara Maryska II obejmuje rozwój roślinności o charakterze interglacjalnym. Cechy zapisanej sukcesji roślinnej pozwalają na przypisanie czasu ich powstania do interglacjalu

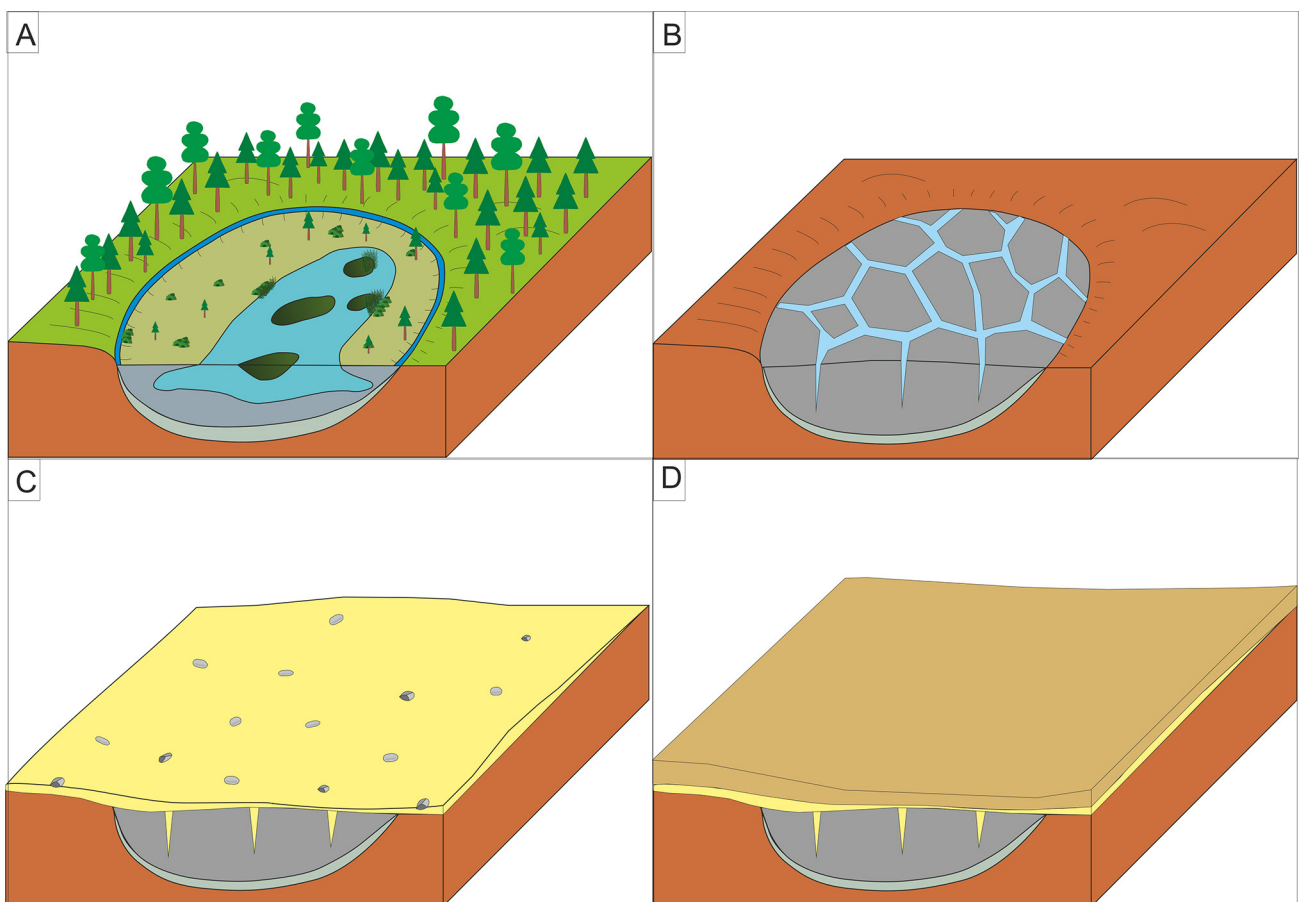
eemskiego (ryc. 9A). Diagram pyłkowy odzwierciedla schyłkową część stadium mezokratycznego oraz większą część stadium telokratycznego. Brak osadów młodszego odcinka stadium telokratycznego prawdopodobnie jest spowodowany ich zniszczeniem w czasie ostatniego zlodowacenia.

Lokalna zona pyłowa L PAZ SM II – 1 *Carpinus-CorylusAlnus* odzwierciedla sukcesję roślinną najmłodszego odcinka stadium mezokratycznego. W tym czasie na obszarze w okolicach torfowiska rosły jeszcze zwarte zbiorowiska leśne, w głównej mierze z grabem i domieszką leszczyny, a gdzieś tam również lipy, brzozy, wiązu, dębu i jodły. Na siedliskach podmokłych rozwijały się zbiorowiska olszynowe. Jednakże doszło do szybkiej i gruntownej przebudowy zbiorowisk leśnych, w których drzewa liściaste straciły na znaczeniu, zaś tereny te opanowały drzewa iglaste głównie świerk, sosna i jodła.

Stadium telokratyczne interglacjału eemskiego jest reprezentowane przez dwie lokalne strefy SM II – 2 i L PAZ SM II – 3. Poziom pyłkowy SM II – 2 *Picea – Abies – Alnus* odzwierciedla panowanie zwartych borów ze świerkiem jako głównym udziałowcem oraz z płatami borów mieszanych, z domieszkami termofilnych drzew liściastych: graba, brzozy,

leszczyny, dębu oraz drzew iglastych: sosny i jodły. Gdzieś tam można było spotkać wiąz, jesion i lipę. Wszystkie drzewa liściaste stopniowo traciły na znaczeniu. Bardziej wilgotne stanowiska zajmowała cały czas olcha. W runie, w bliskiej odległości od zbiornika, rosły paprocie. Pod koniec tego poziomu świerk zaczyna ustępować miejsca sośnie.

Ostatni, wydzielony poziom pyłkowy L PAZ SM II – 3 *Pinus* to czas panowania zwartych borów z dominującą sosną i początkowo znacznym udziałem świerka, choć jego ilość stopniowo maleje. W lesie nieznacznie rosły: brzoza, grab, olcha i jodła oraz sporadycznie występowała leszczyna i dąb. Na wilgotnych stanowiskach nadal jeszcze utrzymywała się olcha, choć i ona stopniowo zmniejszała swój zasięg. Najbliższym stanowiskiem z udokumentowanymi osadami interglacjału eemskiego jest położone ok. 0,6 km na WSW stanowisko Stara Maryska (Bińka 2005, Lichwa 2007). Dolna część sukcesji opisanej przez K. Bińkę (2005) świadczy o występowaniu lasów z leszczyną i domieszką innych drzew termofilnych rosnących w czasie optimum klimatycznego interglacjału eemskiego. Górna część profilu zaliczona została do schyłkowej części interglacjału eemskiego (Bińka 2005, Lichwa 2007). Pomiędzy obydwoma



Ryc. 9. Schemat rozwoju paleojeziora w Starej Marysce II
Fig. 9. Scheme of the evolution of the paleolake in Stara Maryska II

wydzieleniami istnieje wyraźna luka sedymentacyjna. Brakuje całej fazy grabowej oraz świerkowej. Przewagą stanowiska Stara Maryśka II nad stanowiskiem Stara Maryśka, jest brak tak dużej luki sedymentacyjnej i prawdopodobnie ciągły zapis zmian klimatycznych. W obu stanowiskach niewątpliwie zapisana jest ostatnia, schyłkowa część interglacjału eemskiego z szeroko rozprzestrzonymi lasami sosnowymi. Ze względu na wyższe wartości pyłku brzozy oraz brak pyłku graba można przypuszczać, że opisane przez K. Bińkę (2005) próby ze schyłku interglacjału są nieco młodsze od najmłodszych osadów opisanych na stanowisku Stara Maryśka II.

Innymi, położonymi w bliskiej odległości stanowiskami z dobrze udokumentowaną sukcesją interglacjału eemskiego są kopalne zbiorniki zlokalizowane na Wysoczyźnie Płockiej. Są to: Sokolniki Stare (Baraniecka i in. 1991) położone około 31 km na SE od Sierpca, Leszczyno (Krupiński 2006) położone około 27 km na SE od Sierpca, Studzieniec, Dąbrówki, Śniedzianowo i Nadolnik położone w okolicy Sierpca oraz Zieluń, Lubowidz, zlokalizowane około 37 km na północ od Sierpca (Krupiński i in. 2005). Są to zagłębienia wypełnione organicznymi osadami jeziornymi i/lub torfowymi o różnej miąższości, odzwierciedlające pełną lub prawie pełną sukcesję zbiorowisk interglacjału eemskiego. Górne części tych profili rejestrują, podobnie jak w przypadku Starej Maryśki II, wyparcie wieloskładnikowych lasów liściastych z grabem jako głównym udziałowcem i zastąpienie ich początkowo przez mieszane lasy iglasto-liściaste ze znacznym udziałem świerka, a później sosny. Wszystkie wymienione stanowiska łączy fakt przykrycia osadów interglacjalnych młodszymi, różnie wykształconymi osadami zlodowacenia wisły. Różnicą pomiędzy tymi stanowiskami a Starą Maryską II jest to, że w starej Maryśce II jest znacznie wyższy udział procentowy świerka, który maksymalnie osiąga ponad 60%. Sukcesje roślinne z okresu interglacjału eemskiego rozpoznano w wielu innych stanowiskach, np. środkowego Mazowsza (Niklewski i in. 1964, Jańczyk-Kopikowa 1973, Jastrzębska-Mamelka 1985 za Mamacową 2003, Bober i in. 2021), Podlasia (Bińka i in., 2003, Granoszewski 2003), czy we wspomnianym na wstępie stanowisku z okolic Nidzicy na wysoczyźnie Mławskiej (Morawski i in. 1999).

Opisane poziomy pyłkowe można korelować z regionalnymi zespołami pyłkowymi (R PAZ) interglacjału eemskiego, wyróżnionymi dla obszaru Polski przez Mamacową (1988). L PAZ SM II – 1 można korelować z R PAZ E5 *Carpinus-Corylus-Alnus* (późny środkowy eem), L PAZ SM II – 2 doskonale koreluje się z poziomem E6 *Picea – Abies – Alnus* (początek późnego eemu), zaś L PAZ SM II – 3 z poziomem E7 *Pinus* (Mamacowa 1988).

Opisywana sukcesja generalnie odznacza się dobrze rozwiniętą fazą lasów borealnych a tylko 2

próbki z dolnej części profilu dokumentują koniec panowania lasów mieszanych z dużym udziałem graba. Sedymentacja torfowa kończy się w momencie rozprzestrzenienia się lasów sosnowych z domieszką świerka i jodły. Początek rozprzestrzeniania się drzew iglastych oraz zanikanie lasów grabowych wskazuje na początek ochłodzenia i zwilgotnienia klimatu. Początkowo zaznacza się to ekspansją świerka i wycofywaniem się drzew mezofilnych jak grab czy leszczyna. Dalsze przemiany doprowadzają do powstania klimatu borealnego, umiarkowanie wilgotnego z szeroko rozprzestrzonymi lasami świerkowymi. Schyłek interglacjału zaznacza się dalszym ochłodzeniem i stopniowym osuszaniem klimatu, co powoduje rozprzestrzenienie się sosny oraz zanik niemal wszystkich drzew o wyższych wymaganiach termicznych (Baraniecka i in. 1991, Krupiński 2005, Krupiński i in. 2006, Kupryjanowicz i in. 2018).

II. Początkowy okres zlodowacenia wisły (wczesny Vistulian)

Warunki panujące na początku zlodowacenia wisły przyczyniły się do rozwoju procesów erozji co spowodowało brak na stanowisku osadów młodszego stadium telokratycznego interglacjału eemskiego. Potwierdza to ostry charakter granicy między osadami biogenicznymi serii SM I a mineralnymi serii SM II. W opisywanym profilu torfy eemskie przecięte są klinem wypełnionym piaskiem (ryc. 9B). Wyniki analizy Cailleux (1942) w modyfikacji Mycielskiej-Dowgiałło i Woronko (1998) próbki z gł. 3,4 m wskazują, że ziarna podlegały transportowi w środowisku eolicznym. W próbce występuje 17% udział ziaren EM/EL o pośrednim stopniu obtoczenia oraz błyszczącej i gładkiej powierzchni, która jest efektem jednoczesnej abrazji i rozpuszczania w środowisku wodnym. Zaznacza się też 1,8% udział ziaren pękniętych typu C o nieznacznie zmodyfikowanej powierzchni.

Powstanie struktur kontrakcji termicznej w warunkach funkcjonowania wieloletniej zmarzliny świadczy o tym, że zbiornik znalazł się na przedpolu zbliżającego się lądolodu (Jahn 1970). Klin bocznie jest powiązany z kolejnym, co sugeruje układ sieci spękań mrozowych. Wypełnienie klina jest strefowe, równoległe do jego granic, co jest związane z szybszym topnieniem lodu od brzegów klina i wypełnianiem powstałej przestrzeni osadem. Można więc uznać, że jest to przykład klina syngenetycznego, rozwiniętego ze szczeliny utworzonej wraz z osadzeniem się sedymentu (Jahn 1970). Obserwowana sieć spękań powstała we wczesnym okresie zlodowacenia wisły przed ok. 80,2±9 ka BP, co potwierdza uzyskany wynik datowania próbki z wypełnienia klina na gł. 3,4 m (próbka nr 2).

Materiał do datowań został pobrany z najbardziej brzeżnej części klina dlatego otrzymana data jest naj-

starsza. Jest to dowodem zamarzania gruntu i funkcjonowania ciągłej wieloletniej zmarzliny, a okres ten można korelować z morskim stadium izotopowym MIS 5b. Obserwacje warunków peryglacialnych we wczesnych stadiach vistulianu znane są z Polski centralnej (m.in. Petera-Zganiacz 2013, Dzieduszyńska i in. 2020).

III. Dolny Plenivistulian

Widoczna strefowość wypełnienia klina sugeruje kilkukrotne jego odnawianie przez ponowne pęknięcie podczas kolejnych epizodów zimnych. Następnym taki okres miał miejsce w późnym vistulianie, o czym może świadczyć wiek ($63,3 \pm 9,1$ ka BP) wypełnienia klina z gł. 4,3 m (próbka nr 1). Wyniki analizy Cailleux (1942) w modyfikacji Mycielskiej-Dowgiałło i Woronko (1998) z tej próbki również wskazują na obróbkę ziaren w krótkotrwałym środowisku eolicznym choć występuje tu najwyższy w profilu udział ziaren o wysokim stopniu obtoczenia RM (4%) świadczący o długotrwałym transporcie w środowisku eolicznym. Kolejny etap otwierania szczeliny po klinie lodowym w zamarzniętym gruncie można wiązać z okresem MIS4 (Dzieduszyńska i in. 2020).

IV. Górny Plenivistulian

Ostatni epizod wypełnienia klina miał miejsce podczas maksymalnego zasięgu zlodowacenia wisły ok. $22,7 \pm 3,7$ ka BP (MIS2) co dokumentuje wiek piasku wypełniającego centralną część klina z gł. 3,1 m (próbka nr 3). Wyniki analizy Cailleux (1942) w modyfikacji Mycielskiej-Dowgiałło i Woronko (1998) z tej próbki wskazują na dominację ziaren typu EM/RM o pośrednim stopniu obtoczenia oraz z obróbką eoliczną widoczną jedynie na najbardziej wystających fragmentach powierzchni. Tego typu obróbka ziaren następuje w stosunkowo krótkotrwałym środowisku eolicznym. W okresie górnego plenivistulianu nastąpiło apogeum zimna przejawiające się wzrostem intensywności procesów eolicznych (Turkowska 1988, Dzieduszyńska i in. 2020).

V. Późny Vistulian/Późny Glacjał

Seria SM II nadbudowuje serię SM I a ich kontakt ma charakter erozyjny. W jej stropie młodszej serii występuje warstwa żwirów frakcji kamienistej z widoczną obróbką eoliczną (ryc. 9C), która potwierdza depozycję tej serii w warunkach eolicznych od około $20,5 \pm 4,4$ ka BP. Wyniki analizy Cailleux (1942) w modyfikacji Mycielskiej-Dowgiałło i Woronko (1998) z próbki gł. 2,8 m (próbka nr 4) wskazują na dominację ziaren EM/RM przy uzupełnieniu EM/EL potwierdzając obróbkę w środowisku eolicznym działającym stosunkowo krótko na ich powierzchnię

przy zachowaniu cech środowiska wodnego. Był to więc okres depozycji pokryw piasków nawiewanych z bezpośrednio sąsiadujących z wysoczyzną równin wodnolodowcowych. Wyniki analizy Cailleux (1942) jednoznacznie pokazują, że wszystkie badane ziarna podlegały transportowi w środowisku eolicznym. Jednakże dominacja ziaren EM/RM w obu analizowanych frakcjach wskazuje, że odbywał się on na: a) niewielką odległość lub b) przez krótki czas. Osadami źródłowymi dla rozwijających się procesów eolicznych mogły być osady wonolodowcowe bardzo bogate w ziarna EM/EL i EL. Godnym podkreślenia jest jednak fakt, iż wyższy stopień eolizacji, wyrażony udziałem ziaren RM i EM/RM, mają ziarna o większej średnicy. Może to wskazywać na bardzo silny wiatr odpowiadający za transport badanych osadów. Ziarna frakcji 0,5–0,8 mm mogły być transportowane w saltacji zmodyfikowanej, natomiast te o większej średnicy w saltacji. Sugeruje to mniejszą częstotliwość kolizji ziaren frakcji drobniejszej.

W późnym glacialu rozpoczęły się prawdopodobnie procesy formowania wydym w tym rejonie, co potwierdzają daty uzyskane z wydmy położonej około 3,5 km na północ między Giełczyńkiem i Marysiniem (tab. 2). Uzyskane wyniki datowań z podstawy wydmy i jej szczytu wskazują na czas formowania między $19,0 \pm 3,8$ a $17,6 \pm 3,0$ ka BP, co należy łączyć ze starszym dryasem.

Ostatnim rozdziałem w ewolucji obniżenia było jego zapełnianie osadami stokowymi i antropogenicznymi (ryc. 9D).

Wnioski

Niewielkie, zamknięte zbiorniki takie jak w Starej Marysce, stanowią najlepsze źródło zapisu zachodzących zmian klimatu i środowisk depozycji. Wykonane na stanowisku Stara Maryska II badania pozwoliły na odtworzenie zmian klimatu i środowisk depozycji oraz rekonstrukcję paleogeograficzną obszaru badań w czasie od interglacjału eemskiego po późny glacjał.

1. W czasie interglacjału eemskiego udokumentowano trzy lokalne zony pyłkowe, które skorelowano z regionalnymi poziomami wyróżnionymi przez Mamakową (1988): poziom SM II – 1 odpowiada R PAZ E5 *Carpinus-Corylus-Alnus* (późny środkowy eem), poziom SM II – 2 odpowiada R PAZ E6 *Picea – Abies – Alnus* (początek późnego eemu) i poziom SM II – 3 koreluje się z R PAZ E7 *Pinus* (późny eem);
2. Eksperymentalna analiza geochemiczna pokazała, że uzyskane parametry Rock-Eval zarejestrowały przekształcenie torfowiska niskiego, fen (topogenicznego) w wysokie, bog (ombrogeniczne) co wiąże się ze zmianą zasilania zbiornika w wodę.

3. Pogorszenie warunków klimatycznych związane ze zbliżającym się zlodowaceniem było przyczyną erozji w zbiorniku (brak stadium telokratycznego MID 5e) i rozwoju warunków peryglacialnych, wieloletniej zmarzliny oraz powstania systemu szczelin mrozowych.
 4. Udokumentowano trzy etapy wypełnienia klinów lodowych.
 5. Uruchomienie procesów eolicznych miało miejsce w czasie zlodowacenia wisły. Nastąpiło we wczesnym Vistulianie i trwało do późnego glacjału.
- Artykuł powstał w ramach projektu pt. Rekonstrukcja zmian klimatu w wybranych stanowiskach północnego Mazowsza w okresie od interglacjału eemskiego do vistulianu (MIS5-MIS2), finansowanego ze środków MEiN

Podziękowania

Autorzy dziękują dwóm anonimowym recenzentom za uwagi, które przyczyniły się do znacznego ulepszenia niniejszego artykułu. Szczególne podziękowania autorzy kierują do dr hab. Stanisława Lisickiego, prof. PIG-PIB za pomoc w przygotowaniu ostatecznej wersji artykułu.

Wkład autorów

Joanna Rychel: prace terenowe, koncepcja, opracowanie wyników, przygotowanie manuskryptu, Dominika Sieradz: prace terenowe, laboratoryjne, analiza palinologiczna, opracowanie wyników, Barbara Masalska: prace terenowe, laboratoryjne, analiza faunistyczna i pirolityczna, opracowanie wyników, Karol Standzikowski: datowanie OSL, opracowanie wyników, Radosław Wasiluk: prace terenowe, opracowanie wyników, Barbara Woronko: analiza uziarnienia i mikromorfologii ziaren kwarcu, opracowanie wyników, Jerzy Nawrocki: prace terenowe, koncepcja.

Literatura

Adamiec G., Aitken M.J., 1998. Dose-rate conversion factors: update. *Ancient TL* 16: 37–50.

Arnett Jr, R.H., Thomas M.C., Skelley P.E., Frank J.H., 2002. *American Beetles*. Volume 2. Polyphaga: Scarabaeoidea through Curculionoidea. CRC Press LLC.

Askevold I.S., 1990. Reconstructed phylogeny and reclassification of the genera of Donaciinae (Coleoptera: Chrysomelidae). *Memoirs of the Entomological Society of Canada* 26: 601–664.

Baraniecka M.D., Jańczyk-Kopikowa Z., 1991. Deposits and pollen analysis of Eemian Interglacial section at Sokolniki Stare (Płock Upland). *Geological Quarterly* 35(1): 27–36.

Behar F., Beaumont V., Penteadó H. L. De B., 2001. *Rock-Eval 6 Technology: Performances and Developments*. Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP 56(2): 111–134.

Beug H.J., 2004. *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.

Bińka K., & Nitychoruk J., 2003. The Late Saalian, Eemian and Early Vistulian pollen sequence at Dzewule, eastern Poland. *Geological Quarterly* 47(2): 155–168.

Bińka K., 2005. Analiza palinologiczna próbek organogenicznych z arkusza Radzanów (367) SMGP 1:50 000. *Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB*, Warszawa.

Bluszcz A., 2018. Luminescence dating of the Volochysk section – a key Podolian loess site (Ukraine). *Geological Quarterly* 62(3): 729–744.

Bober A., Brzozowicz D., Drzymulska D., Żarski M., Suchora M., 2021. Paleobotanical record of the Eemian Interglacial succession of Jagodne site (Garwolin Plain, central Poland). *Geological Quarterly* 65: 34. DOI: 107306/gq.1602.

Bruj M., Roman M., 2007. Zasięg pojezierza z interglacjału eemskiego w Polsce a pozycja stratygraficzna lądolodów zlodowaceń środkowopolskich. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 425: 29–36.

Cailleux A., 1942. Les actions éoliennes périglaciaires en Europe. *Mémoires de la Société Géologique de France* 41: 1–176.

Delarue F., Laggoun-Défarge F., Disnar J.R., Lottier N., Gogo S., 2011. Organic matter sources and decay assessment in a Sphagnum-dominated peatland (Le Forbonnet, Jura Mountains, France): Impact of moisture conditions. *Biogeochemistry* 106: 39–52.

Dembicki H., 2017. *Practical Petroleum Geochemistry for Exploration and Production*. Elsevier.

Dzieduszyńska D., Petera-Zganiacz J., Roman M., 2020. Vistulian periglacial and glacial environments in central Poland: an overview. *Geological Quarterly* 64(1): 54–73.

Faegri K., Iversen J., 1978. *Podręcznik analizy pyłkowej*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.

Fedorowicz S., Łanczont M., Mroczek P., Bogucki A., Standzikowski K., Moska P., Kusiak J., Forsyjak J., 2017. The diversity of geomorphological features of peatland basins in Central Poland and its paleoecological significance – a review. *Bulletin of the Geological Society of Finland* 90(2): 175–184.

Folk R.L., Ward W., 1957. Brazos river bar; a study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.* 27, 3e26.

French H.M., Guglielmin M., 2000. Cryogenic weathering of granite, Northern Victoria Land, Antarctica. *Permafrost and Periglacial Processes* 11(4): 305–314.

Granoszewski W., 2003. Late pleistocene vegetation history and climatic changes at Horoszki Duże Poland: a paleobotanical study. *Acta Paleobotanica supplementum no. 4*. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.

Jahn A., 1970. *Zagadnienia strefy peryglacialnej*. PWN, Warszawa.

Jańczyk-Kopikowa Z., 1973. Analiza pyłkowa osadów interglacjału eemskiego w Grodzisku Mazowieckim. *Geological Quarterly* 17(4): 821–827.

Kondracki J., 2009. *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa.

Kopczyńska-Zandarska K., 1970. *Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1: 50 000, arkuś Czerwińsk nad Wisłą (485)*. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.

Krumbein W.C., 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research* 11(2): 64–72.

Krupiński K.M., 2005. Badania paleobotaniczne młodoplejstocennych osadów jeziornych Wysoczyzny Płockiej. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego* 184, Warszawa.

Krupiński K.M., Kotarbiński J., Skompski S., 2006. Osady jeziorne interglacjału eemskiego w Leszczynie – Wysoczyzna Płocka. *Przeгляд Geologiczny* 549(7): 632–638.

Kupryjanowicz M., 2008. Vegetation and climate of the Eemian and Early Vistulian Lakeland in northern Podlasie. *Acta Paleobotanica* 48(2): 3–130.

Kupryjanowicz M., Nalepka D., & Madeyska E., Turner Ch., 2018. Eemian history of vegetation in Poland based on isopollen maps. *W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków*.

Kupryjanowicz M., Nalepka D., Madeyska E., Trner Ch., eds., 2018. *Eemian history of vegetation in Poland based on isopollen*

- maps. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.
- Lichwa M., 2007. Objaśnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000, arkusz Radzanów (367). Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.
- Majecka A., Forsyśki J., Marks L., Tołoczko-Pasek A., 2019. Lithological diversity of the deposits of closed depressions in central Poland as a result of their origin conditions. *Quaternary International* 501: 208–218.
- Mamakowa K., 1988. Pollen Stratigraphy of Eemian and adjoining glacial deposits based on continuous sequences in Poland. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Earth Sciences* 36(3–4): 299–308.
- Mamakowa K., 2003. Plejstocen: 235–266. Dybowa-Jachowicz S. & Sadowska A. (eds), *Palinologia*. Instytut Botaniki im. W. Szafera PAN, Kraków.
- Massalska B., 2020 – Raport z oznaczenia fauny żuków na stanowisku Stara Maryśka II. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.
- Moore P. D., Webb J. A., Collinson M. E., 1991. *Pollen Analysis*. 2nd ed. Blackwell, Oxford
- Morawski W., Krupiński K. M., Winter H., 1999. Biogenic sediments of the Eemian Interglacial on the Nidzica Plateau, southwestern Mazury Lakeland. *Geological Quarterly* 43: 79–84.
- Mycielska-Dowgiałło E., Woronko B., 1998. Analiza obtoczenia i zmatowienia powierzchni ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej i jej wartość interpretacyjna. *Przegląd Geologiczny* 46: 1275–1281.
- Niklewski J., Kącki J., Stawin J., 1964. Analiza pyłkowa interglacjalna z Głównicy. *Acta Geologica Polonica* 14(3): 407–414.
- Petera-Zganiacz J., 2013. Zapis procesów peryglacjalnych i wiek szczelin kontrakcji termicznej w południowo-zachodniej części poziomu katarzynowskiego (Polska Środkowa). *Acta Geographica Lodziensia* 101: 101–115.
- Reille M., 1992. *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, Marseille.
- Roman M., 2016. Pojezierze eemskie: uwagi o genezie i zaniku Jezior połodowcowych centralnej Polski. *Acta Geographica Lodziensia* 105: 11–25.
- Prescott J., Hutton J., 1994. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long-term time variations. *Radiation Measurements* 23: 497–500. DOI: 10.1016/1350-4487(94)90086-8.
- Rychel J., Pochocka-Szwarc, K., Wasiluk, R., 2012. Mapa geologiczno-turystyczna gminy Strzegowo. ISBN 978-83-7538-970-8
- Rychel J., Karasiewicz, M.T., 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: 60–74.
- Sieradz D., 2020. Ekspertyza palinologiczna osadów ze stanowiska Stara Maryśka II. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.
- Sobczyk A., Borówka R.K., Badura J., Stachowicz-Rybka R., Tomkowiak J., Hrynowiecka A., Stawińska J., Tomczak M., Pitura M., Lamentowicz M., Kołaczek P., Karpińska-Kołaczek M., Tarnawski D., Kadej, M., Moska, P., Krąpiec, M., Stachowicz, K., Bieniek, B., Siedlik, K., Bąk, M., Made, J., Kotowski A., Stefanik, K. 2020. Geology, stratigraphy and palaeoenvironmental evolution of the *Stephanorhinus kirchbergensis*-bearing Quaternary palaeolake(s) of Gorzów Wielkopolski (NW Poland, Central Europe). *Journal of Quaternary Science* 35: 539–558.
- Standzikowski K., 2019. Raport z datowania osadów profil Stara Maryśka. NAG.
- Stockmarr J., 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores* 13: 615–621.
- Turkowska K., 1988. Évolution des vallées fluviales sur le Plateau de Łódź au cours du Quaternaire tardif (in Polish with French summary). *Acta Geographica Lodziensia* 57: 1–157.
- Walanus A., Nalepka D., 1998. POLPAL dla Windows. Instrukcja użytkownika. Instytut Botaniki im. W. Szafera PAN, Kraków.
- Walanus A., Nalepka D., 1999. POLPAL programs for counting pollen grains, diagrams plotting and numerical analysis. *Acta Palaeobotanica, Suppl.* 2: 659–661.
- Woronko B., Rychel J., Karasiewicz M.T., Kupryjanowicz M., Adamczyk A., Fijoł M., Marks L., Krzywicki T., Pochocka-Szwarc K., 2017. Post-Saalian transformation of dry valleys in Eastern Europe: an example from NE Poland. *Quaternary International* 467, part A: 161–177.
- Wrotek K., 2008. Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1: 50 000, arkusz Strzegowo Osada. Narodowe Archiwum Geologiczne PIG-PIB, Warszawa.