










## ETAPY ROZWOJU HOLOCENŃSKIEGO KORYTA W DOLINIE WARTY, STANOWISKO KOŹMIN-KN

### Stages of development of the Holocene channel in the Warta valley, Koźmin-KN site

JULIUSZ TWARDY<sup>1</sup> , JOANNA PETERA-ZGANIACZ<sup>1</sup> , DANUTA DZIEDUSZYŃSKA<sup>1</sup> ,  
JACEK FORYSIAK<sup>1</sup> , KRYSZYNA MILECKA<sup>2</sup> , DANIEL OKUPNY<sup>3</sup> , MARTA RUDNA<sup>4</sup> ,  
RENATA STACHOWICZ-RYBKA<sup>5</sup> , SYLWIA SKOCZYLAŚ-ŚNIAZ<sup>5</sup> 

**Zarys treści.** W pracy przeanalizowano wypełnienie niewielkiego paleokoryta Warty wyciętego z początkiem holocenu w płaskiej i monotonnej powierzchni terasy niskiej. W rozwoju badanego koryta wyróżniono dwa etapy – jeziorny (zbiornikowy), który zapisał się akumulacją w preboreale i boreale blisko jednodmowej miąższości gytii w spagu oraz etap fluwialny, związany z działaniem aktywnego koryta, zapisany sekwencją głównie mineralnych aluwów. Całość wypełnienia koryta zbadano metodami sedimentologicznymi, natomiast gytie z zastosowaniem metod paleobiologicznych (metoda palinologiczna, makroszczątkowa, kopalnych Cladocera), fizykochemicznych, geochemicznych i geochronologicznej (<sup>14</sup>C). Dla etapu jeziornego częściowo określono zmiany poziomu wody małego jeziora zajmującego badane paleokoryto oraz wahania trofii. Rekonstrukcje obejmowały także ewolucję szaty roślinnej, elementów fauny (Cladocera), wahania zawartości materii organicznej, odczynu i konduktywności osadów oraz puli pierwiastków chemicznych.

**Słowa kluczowe:** paleogeografia, eoholocen, rzeczny system wielokorytowy, Kotlina Kolska

**Abstract.** In the article, the authors analyse the filling of a small palaeochannel of the Warta River cut in the flat and monotonous surface of a low terrace at the beginning of the Holocene. Two stages were distinguished in the development of the studied channel – limnic, which was recorded in the Preboreal and Boreal by the accumulation of nearly 1-metre-thick gyttja at the bottom of the channel filling, and the fluvial stage, related to the functioning of the active channel and recorded by a sequence of mainly mineral alluvium. The entire channel filling was examined with sedimentological methods, while the gyttja was investigated using palaeobiological methods (palynology, plant macrofossil, fossil Cladocera), geochemical method, geochronological method (<sup>14</sup>C) and also physicochemical features. For the limnic stage, changes in the level of water in a small lake occupying the studied palaeochannel and fluctuations in the trophy were partially determined. The reconstructions also included the evolution of vegetation, faunal elements (Cladocera), fluctuations in the content of organic matter, pH, conductivity and chemical elements..

**Key words:** palaeogeography, Eoholocene, multichannel river pattern, Koło Basin

---

<sup>1</sup> Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Katedra Geologii i Geomorfologii, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź; e-mail: [juliusz.twardy@geo.uni.lodz.pl](mailto:juliusz.twardy@geo.uni.lodz.pl), ORCID: 0000-0002-6090-0313; e-mail: [joanna.petera@geo.uni.lodz.pl](mailto:joanna.petera@geo.uni.lodz.pl), ORCID: 0000-0002-1045-5506; e-mail: [danuta.dzieduszynska@geo.uni.lodz.pl](mailto:danuta.dzieduszynska@geo.uni.lodz.pl), ORCID: 0000-0002-2284-2183; e-mail: [jacek.forysiak@geo.uni.lodz.pl](mailto:jacek.forysiak@geo.uni.lodz.pl), ORCID: 0000-0002-0084-4436

<sup>2</sup> Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, ul. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań; e-mail: [milecka@amu.edu.pl](mailto:milecka@amu.edu.pl), ORCID: 0000-0002-9822-4867

<sup>3</sup> Uniwersytet Szczeciński, Instytut Nauk o Morzu i Środowisku, ul. Mickiewicza 18, 70-383 Szczecin; e-mail: [daniel.okupny@usz.edu.pl](mailto:daniel.okupny@usz.edu.pl), ORCID: 0000-0002-8836-6044

<sup>4</sup> Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Katedra Geografii Fizycznej, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź; e-mail: [marta.rudna@geo.uni.lodz.pl](mailto:marta.rudna@geo.uni.lodz.pl), ORCID: 0000-0002-6772-9723

<sup>5</sup> Polska Akademia Nauk, Instytut Botaniki im. W. Szafera, ul. Lubicz 46, 31-512 Kraków; e-mail: [r.stachowicz@botany.pl](mailto:r.stachowicz@botany.pl), ORCID: 0000-0002-0802-0570; [s.skoczylas@botany.pl](mailto:s.skoczylas@botany.pl) ORCID: 0009-0001-0437-3926

## Wstęp

Dolina Warty na obszarze Kotliny Kolskiej (Solon i in. 2018) jest formą rozległą miejscami na niemal 10 km, stanowiącą równinę aluwialną o wyrównanej i monotonnej rzeźbie. Południkowy odcinek Warty osiąga tu pradolinę warszawsko-berlińską, odwadnianą przez dolny Ner, który prawostronnie uchodzi do Warty w okolicach miejscowości Dobrów. W szerokiej dolinie Warty zaznacza się jeden nadzalewowy poziom dolinny – pochodząca z młodszego dryasu terasa niska, pod której osady chowa się wyższy poziom nadzalewowy – terasa wysoka, wiekowo wiązana z plenivistulianem. Wyjątkowo rozległą terasę niską urozmaicają zarówno formy negatywne, jak i pozytywne. Do form wklęsłych należą liczne, wąskie koryta rzeczne i szersze, stosunkowo płytkie obniżenia tworzące przestrzennie skomplikowane dno dolinne. Do form wypukłych można zaliczyć pojedyncze pagórki eoliczne dominujące w zachodniej części doliny, a także wydmy śródlądowe i ich bardziej okazałe zespoły, które występują we wschodniej części doliny. Koryta rozcinające powierzchnię terasy niskiej tworzą skomplikowany wzór, wielokrotnie łącząc się i rozdzielając, pozostawiając pomiędzy sobą piaszczyste, wyrównane wyspy o romboidalnych bądź eliptycznych kształtach i orientacji dłuższych osi zbliżonej do południkowej (rys. 1).

Okolicznością sprzyjającą badaniom terasy niskiej i rozcinających ją koryt rzecznych były obszerne powierzchniowo odsłonięcia odkrywek nieczynnej już Kopalni Węgla Brunatnego „Adamów”, zlokalizowane w okolicach wsi Koźmin i Kwiatków. Równoleżnikowo przebiegające ściany odkrywek dawały korzystną, prostopadłą do przebiegu koryt intersekcję i zapewniały uzyskiwanie pełnych przekrojów geologicznych obrazujących budowę wypełnień koryt. Stwarzało to szansę na opracowanie szczegółowej charakterystyki litologicznej osadów wypełniających koryta oraz osadów późnego vistulianu/eoholocenu, w które badane formy korytowe były wcięte. Okazało się jednak, że pomimo korzystnej sytuacji terenowej trudno było w odsłoniętych korytach znaleźć bardziej miększe złoża osadów biogenicznych pozostające na pierwotnym złożu, które pozwoliłyby uzupełnić studia o badania paleoekologiczne i wynikające z nich rekonstrukcje warunków środowiskowych. Należy poczynić dodatkowe zastrzeżenie, że znalezione i opracowane podczas przeszło trzech dekad badań profile uzyskane z paleokoryt rzecznych są jedynie fragmen-

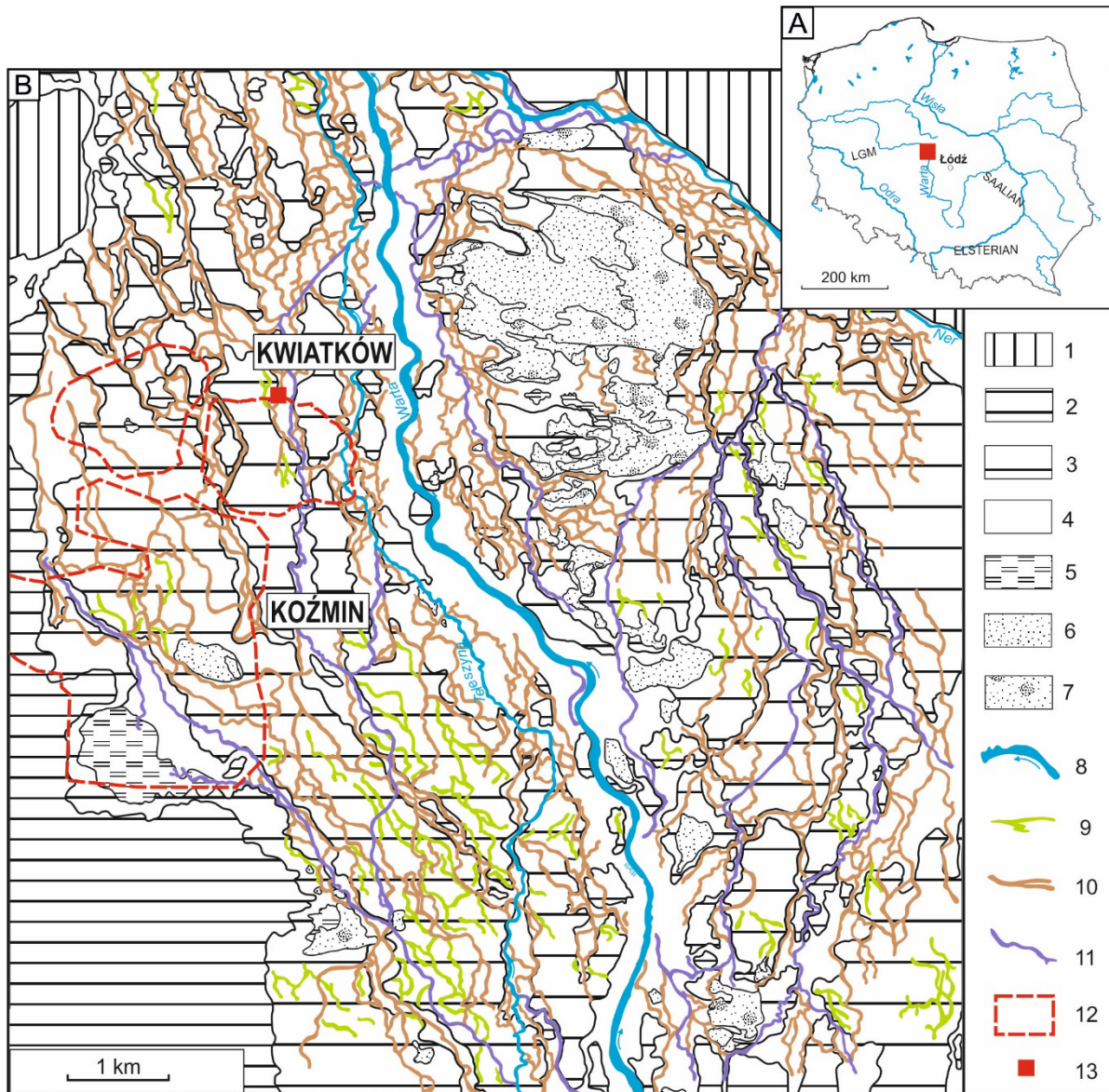
taryczne i obejmują okresy do 3 tys. lat (Petera-Zganiacz i in. 2024). W korytach rozcinających terasę niską, obok części mineralnych, dominuje materiał w postaci rozporoszonej próchnicy, tworzący namuły organiczne, bryły torfów, gytii i spoistych mułów organicznych oraz gruby detrytus roślinny, to znaczy pnie, gałęzie i korzenie drzew iglastych i liściastych. W tej sytuacji zachodziły obawy o różnowiekowość zakumulowanego materiału organicznego, co utrudniało datowanie wypełnień koryt (Turkowska i in. 2000, 2004; Petera, Forsyś 2004; Petera-Zganiacz i in. 2019).

Celem podjętych badań było scharakteryzowanie osadów wypełniających koryta w stanowisku Koźmin-KN ze szczególnym uwzględnieniem zalegających w spągu osadów organicznych, stwarzających warunki do zastosowania obszernego zestawu metod paleoekologicznych. Pozwalało to uzupełnić wiedzę o rozwoju wielokorytowego systemu Warty w Kotlinie Kolskiej, zwłaszcza w odniesieniu do eoholocenu, o którym to okresie dotychczas nie było obszerniejszych danych.

## Zarys budowy geologicznej i rzeźby terenu badań

Na obszarze Kotliny Kolskiej, gdzie zlokalizowany jest teren badań, miąższość utworów czwartorzędowych osiąga około 30 m, powiększając się do około 60 m w strefach obniżen odpowiadających rowowi tektonicznemu Adamowa (Czarnik 1972; Widera 1998). W profilu czwartorzędu dominują osady piaszczyste fluwioglacjalne oraz fluwialne, zaś udział glin zwałowych jest niewielki. Występują tu także bardziej drobnoziarniste utwory zastoiska glacialnego (Petera 2002; Czubła i in. 2013; Pawłowski i in. 2013). Gdzieś tam na powierzchni zaznaczają się piaski eoliczne.

W aluwiach, wśród utworów mineralnych, stwierdzono kilka cienkich horyzontów utworów organicznych, które łączono z ciepłymi wahnięciami klimatycznymi w vistulianie (Petera 2002). Najmłodszym z nich jest 0,2–0,5 metrowej miąższości poziom torfów i osadów mineralno-organicznych wzbogacony w stropie licznymi pniami i karpami drzew iglastych *in situ*, przede wszystkim sosen, który został szczegółowo opracowany w stanowisku Koźmin-Las (Dzieduszyńska i in. 2014; Petera-Zganiacz i in. 2015). Charakteryzuje się on względnie dobrą ciągłością przestrzenną i znacznym rozprzestrzenieniem powierzchniowym; powierzchnię zajętą przez allerødzkie



Rys. 1. Szkic geomorfologiczny doliny Warty na obszarze Kotliny Kolskiej w okolicach Koźmina (wg Forsyśki 2005)

1 – stoki doliny i wysoczyzna, 2 – terasa wysoka, 3 – terasa niska, 4 – dno doliny, 5 – torfowisko, 6 – pola piasków eolicznych, 7 – wydmy, 8 – współczesne ciekii, 9 – ślady starorzeczy o jasnym fototonie (typ A), 10 – ślady starorzeczy o ciemnym fototonie (typ B), 11 – starorzecza świeże, częściowo wypełnione wodą (typ C), 12 – zasięg odkrywek kopalni, 13 – stanowisko Koźmin-KN

Geomorphological sketch of the Warta valley in the Koło Basin area near Koźmin (after Forsyśki 2005)

1 – valley slopes and plateau, 2 – high terrace, 3 – low terrace, 4 – valley bottom, 5 – peatbog, 6 – aeolian covers, 7 – dunes, 8 – current streams, 9 – palaeochannel traces of light phototon (type A), 10 – palaeochannel traces of dark phototon (type B), 11 – fresh palaeochannels, partly filled with water (type C), 12 – extent of mine open pits, 13 – Koźmin-KN site

i młodszodryasowe torfowisko i kopalny las oszacowano na blisko 20 km<sup>2</sup> (Peters-Zganiacz, Andrzejak 2014). Ta najmłodsza, powszechnie występująca seria mineralno-organiczna stanowi bezpośrednie podłoże przykrywającej ją przypowierzchniowej serii piaszczystej o miąższości 2–3 m. Pokrywa piaszczysta jest zbudowana z piasku drobno- i bardzo drobnoziarnistego z domieszkami mułów, rzadziej występują domieszki piasku

średnio- i gruboziarnistego, a już jedynie sparsko żwirów i drobnych otoczków. W całej masie najmłodszej serii mineralnej zdecydowanie przeważają utwory facji pozakorytowej, stosunkowo rzadko identyfikowano synchroniczne utwory korytowe (Peters-Zganiacz, Andrzejak 2014). Utwory pozakorytowe są złożone w postaci lateralnie bardzo rozległych, ciągłych warstw z warstwowaniami przekątnymi i riplemarkowy-

mi lub warstwowaniem horyzontalnym. Średnie średnice ziaren zawierają się w przedziale 1,26–4,45 phi, wysortowanie zmienia się od dobrego (0,4 phi) poprzez średnie do słabego (1,73 phi); dominują dodatnie skośności rozkładu uziarnienia (Twardy 2014). Powstanie pokrywy utworów pozakorytowych przypisano serii młodszodryasowych powodzi (Peters-Zganiacz i in. 2015) lub powodzi w początkach holocenu (Kittel 2015). Biorąc za podstawę cechy teksturalne, a zwłaszcza strukturalne, utwory młodszodryasowej pokrywy piaszczystej budującej terasę niską przypisano środowisku piaskodennej rzeki o wielokorytowym rozwinięciu koryta – rzece anabranching typu II według klasyfikacji Nansona i Knightona (1996) (Turkowska i in. 2000). Młodszodryasowe utwory powodziowe tworzą podłoże w które wcięły się liczne koryta rzeczne, w tym badane koryto w stanowisku Koźmin-KN.

Zagadnienie typów koryt uporządkował Forysiak (2005, 2010), wykorzystując wielkoskalowe zdjęcia lotnicze, poziomicowy obraz rzeźby terenu i obserwacje terenowe. Wydzielił on trzy rodzaje koryt zaznaczających się w powierzchniowym obrazie młodszodryasowej terasy niskiej Warty oraz na jej dnie (rys. 1B, wyróżnienia 9–11):

- koryta typu A o jasnych fototonach, stosunkowo niskiej krętości (1,10) i znacznej gęstości (4,41 km/km<sup>2</sup>), wypełnione zasadniczo materiałem piaszczystym;
- koryta typu B o ciemnych fototonach, większej krętości (1,23) i jeszcze większej gęstości (5,48 km/km<sup>2</sup>, w pewnych rejonach Kotliny Kolskiej osiągającej niemal 10 km/km<sup>2</sup>), z wypełnieniem organiczno-mineralnym;
- koryta typu C (koryta świeże), które mogą być wypełnione wodą stojącą lub prowadzić cieki o niewielkich przepływach, osiągające krętość 1,19 i mniejszą gęstość (1,51 km/km<sup>2</sup>). Koryta te znajdują się niżej niż poprzednio wymienione, lokując się najczęściej w poziomie dna dolinnego Warty.

Należy podkreślić, że niektóre z koryt lub koryta na pewnych odcinkach nie zaznaczają się w rzeźbie terenu, natomiast były możliwe do wydzielenia i śledzenia ich ciągłości w głównej mierze dzięki zmienności fotofonu wielkoskalowego, panchromatycznego zdjęcia lotniczego. Oprócz tego ich obecność manifestowała się w przypowierzchniowych partiach ścian odsłoneń kopalnianych.

Badane w stanowisku Koźmin-KN koryto należy zaliczyć do typu koryt B z mineralno-organicznym wypełnieniem. Koryto jest położone

w środkowo-zachodniej części terasy niskiej, w odległości około 1 km na zachód od współczesnego, uregulowanego koryta Warty. Jego położenie matematyczne wyznaczają współrzędne:  $\varphi = 52^{\circ}06'3,9''$  N;  $\lambda = 18^{\circ}40'21,2''$  E.

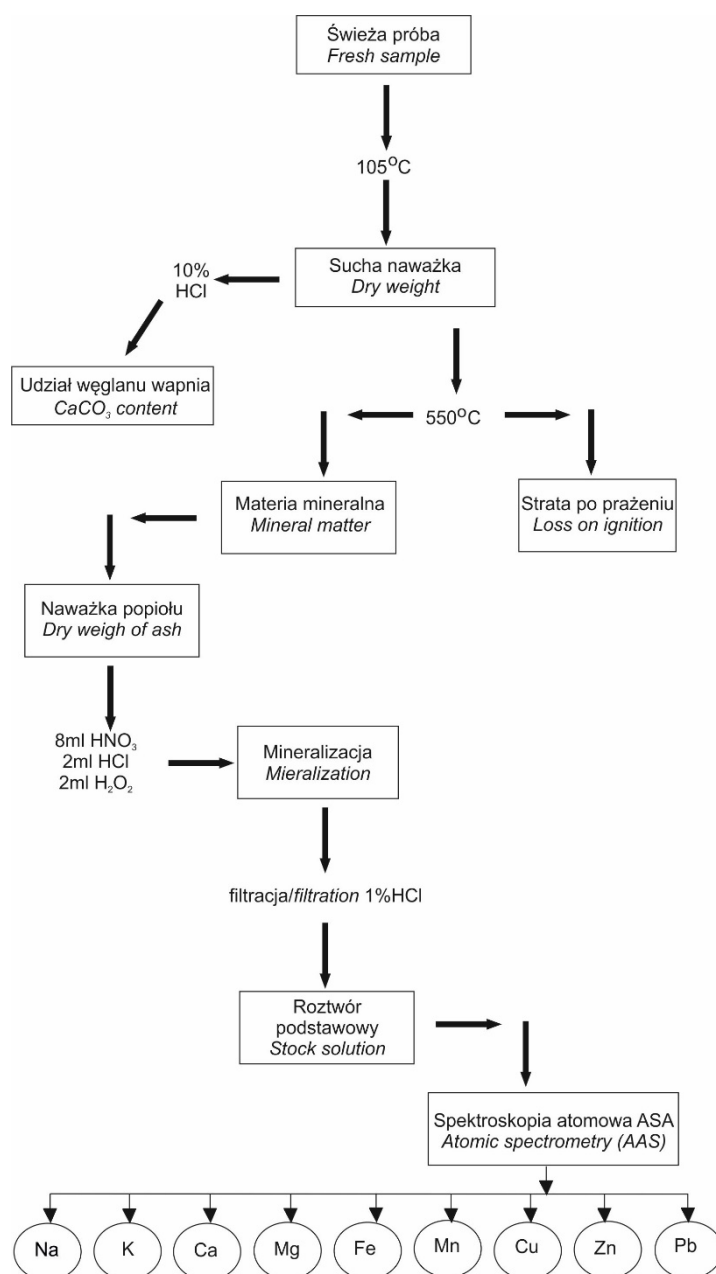
## Metody badań

Do badań mineralnych i organicznych osadów wypełniających koryto w stanowisku Koźmin-KN zastosowano metody sedymentologiczne, metody badań fizykochemicznych cech osadów, geochemiczne, paleoekologiczne (palinologiczną, analizę makroszczałków roślin i Cladocera) oraz geochronologiczne.

Uziarnienie osadów (w zakresie głębokości 3,00–0,70 m) zbadano za pomocą analizy sitowej (zestaw sit firmy Fritsch) uzupełnionej dla drobniejszych frakcji metodą areometryczną Bouyoucosa w modyfikacji Casagrande'a i Prószyńskiego (Turski i in. 1986; Bednarek i in. 2011). Analizy przeprowadzono w laboratorium Katedry Geologii i Geomorfologii Wydziału Nauk Geograficznych Uniwersytetu Łódzkiego (Nowak 2017). Cechy teksturalne osadów scharakteryzowano za pomocą statystycznych parametrów uziarnienia (Folk, Ward 1957), a zestawienie wybranych parametrów opracowano w myśl zasad podanych przez Mycielską-Dowgiałło (1995). Opis struktury osadów i ich interpretację przeprowadzono według Zielińskiego (2014).

Analizy fizykochemiczne, geochemiczne, paleoekologiczne oraz geochronologiczne opierały się na badaniu utworów jeziornych stanowiących spągową partię wypełnienia koryta w stanowisku Koźmin-KN. Materiał do badań pobrano z osiowej części formy, gdzie miały największą miąższość i mieściły się w zakresie głębokości 1,93–2,69 m. W tym samym zakresie przeprowadzono wyżej wspomniane analizy. Rdzeń pobrano ze ściany odsłoneń z zachowaniem pierwotnej struktury osadów.

W zakresie parametrów fizykochemicznych oznaczono odczyn (pH) i konduktywność osadów metodą elektrometryczną przy pomocy urządzenia wielofunkcyjnego CX-401 firmy Elmetron (Myślińska 2010). Stratygraficzne zróżnicowanie składu chemicznego badano stosując tok postępowania analitycznego (rys. 2) autorstwa Borówki (1990). Pierwszy etap badań polegał na wysuszeniu w 105°C świeżego materiału, po czym rozarte próbki były mineralizowane na sucho, poprzez czterogodzinne prażenie (*loss on ignition* – LOI) w temperaturze 550°C przy użyciu pieca mufowego firmy Gallenkamp. Mimo wątpliwości Wi-



Rys. 2. Tok postępowania laboratoryjnego według Borówki (1990) przyjęty w geochemicznych badaniach osadów koryta w stanowisku Koźmin-KN

Procedure of laboratory analysis after Borówka (1990) used in geochemical research of sediment fillings of channel at Koźmin-KN site

cika i Więckowskiego (1991) do założeń zastosowanej metody (między innymi możliwy rozkład niektórych minerałów oraz utrata wody przez minerały ilaste) uzyskane wyniki strat prażenia dla profilu w stanowisku Koźmin-KN zinterpretowano jako udział materii organicznej. Z kolei udział węglanu wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ) określono metodą objętościową przy użyciu aparatu Scheiblera (Turski i in. 1986). Pozbawiony materii organicznej popiół po prażeniu był następnie roztwarzany na mokro w ultradźwiękowym mineralizatorze fir-

my Berghoff. Sam proces mineralizacji prowadzono w mieszaninie 8 ml stężonego kwasu azotowego ( $\text{HNO}_3$ ) z 2 ml 10% kwasu solnego ( $\text{HCl}$ ) oraz dodatkiem 2 ml perhydroflu ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Zdaniem Ślęzak i in. (2016) jest to technika wysoce skuteczna, mniej czasochłonna niż konwencjonalne trawienie w systemie otwartym oraz gwarantująca wysoką dokładność i powtarzalność wyników. Aby uniknąć wzajemnych oddziaływań między badanymi pierwiastkami, został użyty roztwór lantanu w stężeniach określonych przez Pintę

(1977). Oznaczeń koncentracji wybranych pierwiastków (Na, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Cu, Zn i Pb) dokonano metodą spektrometrii absorpcji atomowej (AAS) na urządzeniu Solaar 969 firmy Unicam w laboratorium geochemicznym Instytutu Nauk o Morzu i Środowisku Uniwersytetu Szczecińskiego. Uniwersalność przyjętej metody wynika z możliwości jej zastosowania dla osadów zarówno o małej, jak i dużej koncentracji poszczególnych pierwiastków (Minczewski, Marczenko 1978), co z kolei jest kluczowe w badaniach mierzących do porównywania procesów geologicznych w różnych środowiskach sedymentacyjnych, które niezależnie od wieku często wzajemnie się zazębiają (Zgłobicki i in. 2008; Kittel i in. 2020). Analizę pyłkową wykonano z rozdzielczością 2 cm. Przygotowanie próbek osadu objęło standardową procedurę laboratoryjną (Berglund, Ralska-Jasiewiczowa 1986), która prowadzi do uzyskania koncentratu ziaren pyłku. Usunięto części mineralne działaniem kwasu fluorowodorowego i części organiczne gotowaniem w wodorotlenku potasu. Acetoliza trwała 3 minuty. Próbkę zatopioną w glicerynie barwiono safraniną dla łatwiejszej obserwacji cech diagnostycznych w obrazie mikroskopowym. Diagram pyłkowy, który stanowi zestawienie wybranych wyników wykonano w programie Tilia i uzupełniono w programie Correl. Podstawę przeliczeń procentowych (100%) stanowi suma drzew i krzewów (AP) oraz roślin zielnych (NAP). Na diagramie przedstawiono również przewyższenia  $\times 10$  dla podkreślenia obecności taksonów rzadkich.

W korelacji z próbkami do analizy pyłkowej metodą analizy makroskopowych szczątków roślin analizowano próbki o objętości 30 ml z rozdzielczością 2 cm. Próbkę moczoło w wodzie przez około 24 h, a następnie poddawano gotowaniu z dodatkiem KOH i detergentu. Po rozłusowaniu próbki szlamowano na sicie o średnicy oczek  $\varnothing$  0,2 mm, a pozostały na sicie materiał przebie-rano i oznaczano przy użyciu mikroskopu stereoskopowego Carl ZEISS Stemi 508. Szczątki roślinne zakonserwowano w mieszance złożonej z gliceryny, wody i alkoholu etylowego w stosunku 1:1:1 z dodatkiem tymolu. Oznaczania wykonano przy pomocy kluczy, atlasów i innych publikacji, a także zbioru porównawczego współczesnych nasion i owoców oraz zbiorów z Narodowej Kolekcji Bioróżnorodności Organizmów Współczesnych i Kopalnych IB PAN (NKB IB PAN). Wyniki przedstawiono na diagramie wykreślonym przy użyciu programu POLPAL (Nalepka, Walanus 2003).

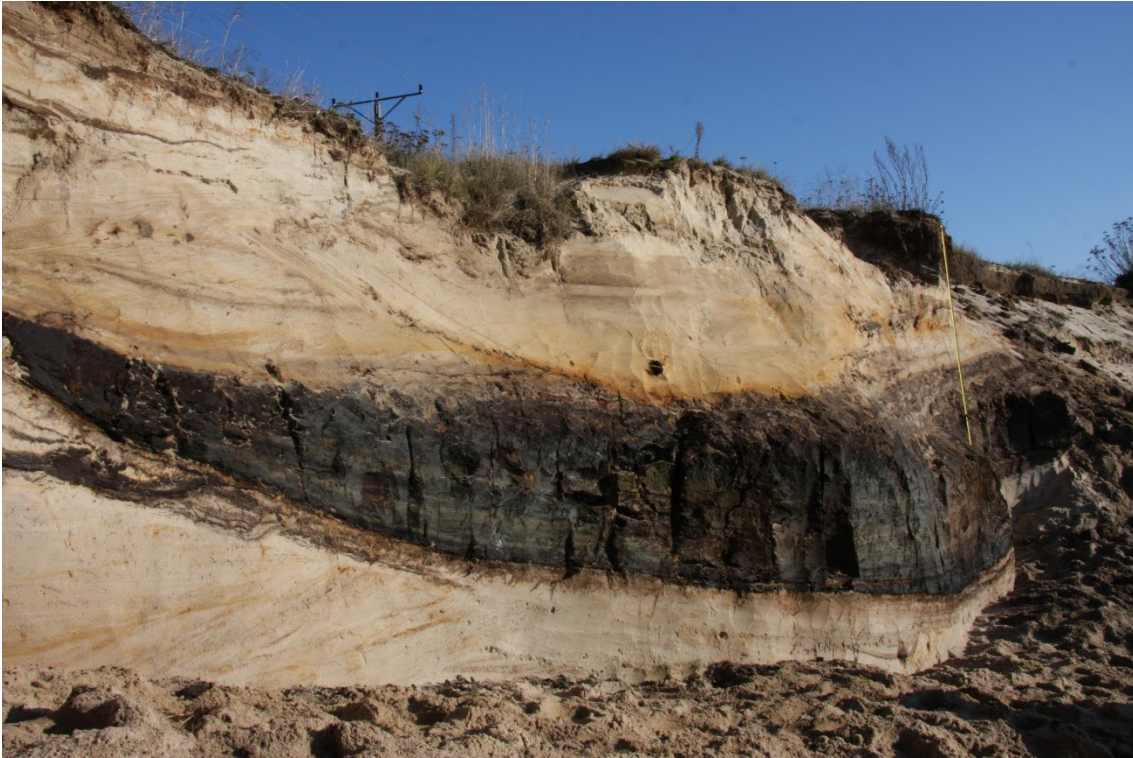
Analizę subfosylnej fauny Cladocera wykonano z rozdzielczością 2 cm, zgodnie ze standardową metodyką według Freya (1986). Obejmuje ona podgrzewanie 1 cm<sup>3</sup> osadu w 10% roztworze KOH, a następnie mieszanie próbki na mieszadle magnetycznym i przepłukiwanie na sicie 38  $\mu$ m. Powstałe residuum umieszczono w plastikowych probówkach i dodawano kilka kropeł safraniny. Następnie przygotowywano preparaty (0,1 cm<sup>3</sup>) i poddawano je analizie mikroskopowej przy zastosowaniu powiększeń  $\times 100$ ,  $\times 200$ ,  $\times 400$ . W preparatach zliczono wszystkie szczątki Cladocera (tarczki głowowe, skorupki tułowiowe, postabdomy i jaja przetrwalne – efiopia). W każdej próbce zliczono co najmniej 100 osobników (Kurek i in. 2010). Identyfikacja gatunków subfosylnej fauny wioślarek wykonana została na podstawie klucza według Szeroczyńskiej i Sarmaja-Korjonen (2007). Wyniki zaprezentowano na diagramie procentowej zawartości szczątków Cladocera, który wykreślono za pomocą oprogramowania graficznego C2 (Juggins 2007).

Wiek osadów organicznych określono przy zastosowaniu metody <sup>14</sup>C w Laboratorium Datowań Bezwzględnych w Skale. Wyniki datowań radiowęglowych wykalibrowano na podstawie krzywej kalibracyjnej IntCal 20 (Reimer i in. 2020) w programie OxCal v4.4.4. (Bronk Ramsey 2009).

## Wyniki badań

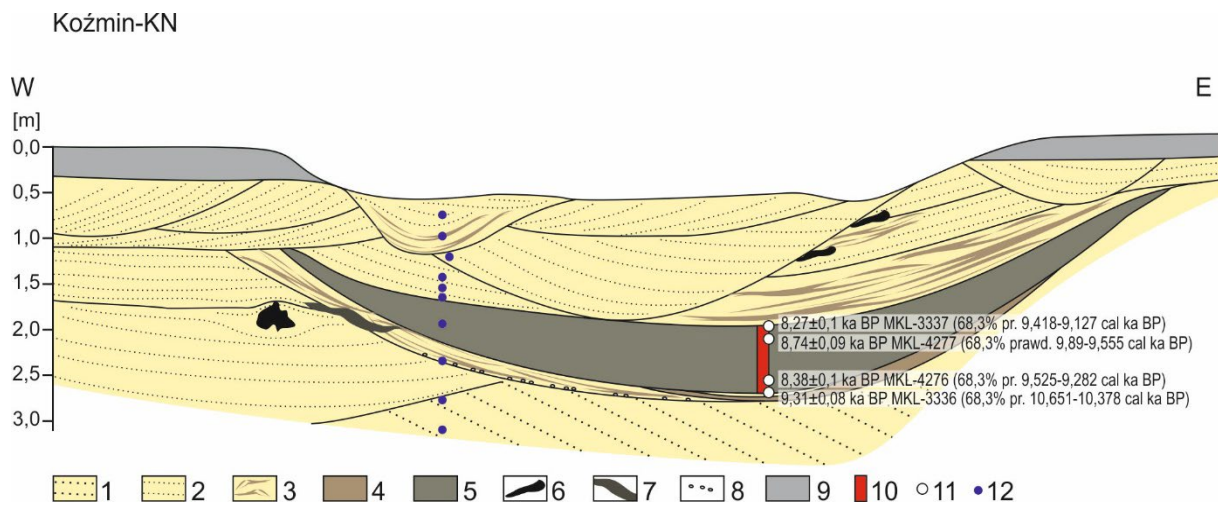
Badane koryto jest typową, niewielką, stosunkowo płytką formą rozcinającą terasę niską Warty. Jego szerokość osiągała 10–11 m, a głębokość w stosunku do współczesnej powierzchni topograficznej wynosiła maksymalnie 2,75 m (fot. 1). W prawej, wschodniej części erozja wgłębna w korycie sięgnęła stropu mineralnych piasków ze żwirem (rys. 3, wyróżnienie 1) o warstwowaniu przekątnym tabularnym, związanych z wcześniejszymi etapami rozwoju systemu fluwialnego (Lisek 2017). W podłożu lewej części koryta zaznaczają się subhoryzontalnie warstwowane piaski zawierające pień lub karpę drzewa (rys. 3, wyróżnienia 2 i 6).

W spągu koryta zaznacza się drobny żwir oraz 5–10 cm miąższości zestaw litofacji piasków drobnoziarnistych z rozproszonym detrytusem roślinnym i bryłkami torfów na wtórnym złożu, przy czym w górnej części widoczne są przewarstwienia mułowo-piaszczyste (rys. 3, wyróżnienia 3 i 7). Na tych osadach spoczywają blisko 1-me-



Fot. 1. Wypełnienie badanego koryta w stanowisku Koźmin-KN wciętego w młodszodryasową terasę niską Warty (fot. J. Petera-Zganiacz 2016)

Filling of channel at Koźmin-KN site cut into Younger Dryas low terrace of Warta River

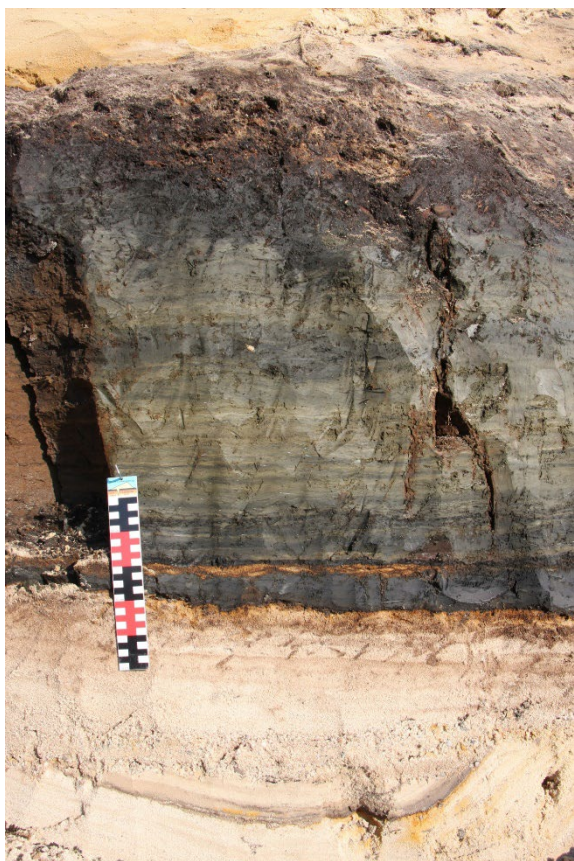


Rys. 3. Wypełnienie badanego koryta w stanowisku Koźmin-KN wraz z lokalizacją analizowanego rdzenia i wynikami datowań  $^{14}\text{C}$

1 – piasek ze żwirem, 2 – piasek, 3 – piasek z detrytusem roślinnym, 4 – muł organiczny, 5 – gytja, 6 – fragmenty drewna, 7 – torf, 8 – żwir, 9 – warstwa antropogeniczna, 10 – lokalizacja rdzenia, 11 – lokalizacja datowań radiowęglowych, 12 – lokalizacja próbek analizowanych granulometrycznie

Filling of channel at Koźmin-KN site, with location of analysed core and  $^{14}\text{C}$  results

1 – sand with gravel, 2 – sand, 3 – sand with plant detritus, 4 – organic silt, 5 – gyttja, 6 – piece of wood, 7 – peat, 8 – gravel, 9 – anthropogenic strata, 10 – core location, 11 – location of radiocarbon dating, 12 – location of samples analysed using grain-size analysis



Fot. 2. Gytia w spągu wypełnienia koryta w stanowisku Koźmin-KN w pobliżu miejsca pobrania analizowanego rdzenia (fot. J. Petera-Zganiacz 2016)

Gyttja at bottom of channel fill near analysed core sampling at Koźmin-KN site

trowej miąższości smugowane ciemnozielono-brązowo-szare gytie (rys. 3, wyróżnienie 5; fot. 2), szybko zmieniające barwę po ułatwieniu dostępu powietrza do osadu. W zakresie głębokości 2,69–2,61 m jest to gytia grubodetrytusowa, następnie zalega gytia ilasta do głębokości 2,19 m. Gytia organiczno-ilasta występuje do głębokości 2,10 m, po czym ponownie pojawia się gytia ilasta, której strop znajduje się na głębokości 1,93 m. Ostatni człon stanowi 0,30 m warstwa gytii organiczno-mineralnej. Warstwa gytii ma na przekroju postać zwartej, dwuwypukłej soczewy. Najwyższa pozycja gytii na wschodnim brzegu koryta wskazuje, że zbiornik wodny w odciętym korycie w stanowisku Koźmin-KN, w którym dochodziło do niezakłóconej akumulacji materii organicznej, miał niemal 2,50 m głębokości. Gytia wykazuje drobną laminację, a układ lamin jest współkształtny do kopalnego dna koryta.

Powyżej gytii występują osady korytowe włożone w koryto wielokrotnego wypełnienia (Gradziński i in. 1986), w którym co najmniej

trzykrotnie następowały po sobie fazy erozji rzecznej przerywane akumulacją w korycie. W prawej części formy występują trzy ławice, na które składają się nachylone ku osi koryta warstwy piasków drobno- i średnioziarnistych naprzemianległe z warstwami o zbliżonej frakcji zawierające detrytus roślinny (rys. 3, wyróżnienia 2 i 3) i dwa większe fragmenty drewna (rys. 3, wyróżnienie 6) na wtórnym złożu. W stropie dolnej ławicy znajdują się deformacje o niewielkiej skali. Warstwy objęte deformacjami utraciły ciągłość i rozdzieliły się na odcinki z brzegami wygiętymi ku górze.

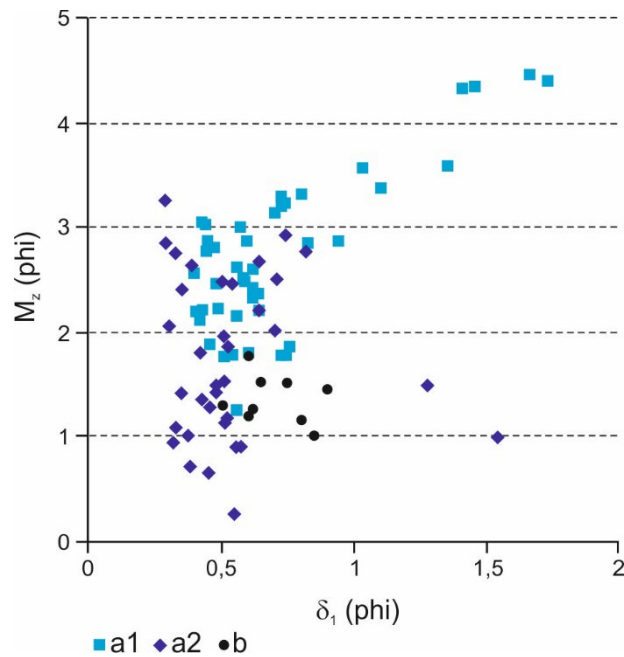
Opisane utwory rozcięło zwężone do około 6 m koryto, którego spąg sięga stropu serii organicznej. Jest ono w całości wypełnione piaskami warstwowanymi rynnowo o równoległym przebiegu lamin, które ku górze przechodzą w laminację poziomą. Osady te zawierają znikomą ilość materiału organicznego. Sekwencję kończą osady najwęższego i najpłytszego koryta znajdującego się na zachód od osi badanej formy, połączone ze śladami jego migracji w kierunku zachodnim.

Utwory wypełniające koryto są mało zróżnicowane pod względem uziarnienia. Rozpiętość średnich średnic ziaren wynosi 0,75 jednostki phi i waha się od 1,0 phi do 1,75 phi (rys. 4). Wysortowanie jest przeważnie umiarkowanie dobre (0,6 phi do 0,65 phi) i umiarkowane (0,75 phi do 0,85 phi), a jedynie pośrodku warstwy piasków z detrytusem roślinnym polepszyło się do dobrego (0,5 phi). Skośności rozkładu uziarnienia są zarówno ujemne (odnotowane w 3 próbkach; wartości do -0,15), jak i dodatnie (4 próbki; wartości do +0,24), rzadziej występują symetryczne rozkłady uziarnienia (2 próbki; wartość 0,0).

Z osadów organicznych wypełniających koryto pobrano cztery próbki w celu oznaczenia ich wieku. Próbka z głębokości 2,70 m dała wynik  $9,31 \pm 0,08$  ka BP (68,3% prawd. 10,651–10,378 cal ka BP; MKL-3336), na głębokości 2,55 m uzyskano wynik  $8,38 \pm 0,1$  ka BP (68,3% prawd. 9,525–9,282 cal ka BP; MKL-4276), kolejna próbka z głębokości 2,07 m –  $8,74 \pm 0,09$  ka BP (68,3% prawd. 9,890–9,555 cal ka BP; MKL-4277) oraz ostatnia pochodząca ze stropu osadów organicznych na głębokości 1,95 m wskazuje  $8,27 \pm 0,1$  ka BP (68,3% prawd. 9,418–9,127 cal ka BP; MKL-3337).

Oznaczenia parametrów fizykochemicznych wykazują zmienność wartości pozwalającą na wskazanie trzech generalnych odcinków w badanym profilu. W części spągowej wypełnienia udział materii organicznej jest dość wysoki (sięga 68,5%), jednocześnie oznaczono tutaj bardzo sil-





Rys. 4. Porównanie wybranych parametrów uziarnienia wg Folka i Warda (1957) osadów badanego koryta i osadów młodszodryasowej terasy niskiej  
 a1 – osady pokrywy młodszodryasowej; facja powodziowa, a2 – osady pokrywy młodszodryasowej; facja korytowa, b – osady koryta w stanowisku Koźmin-KN

Comparison of selected grain-size parameters according to Folk and Ward (1957) of deposits of channel and deposits of Younger Dryas low terrace  
 a1 – deposits of Younger Dryas cover; overbank facies, a2 – deposits of Younger Dryas cover; channel facies, b – deposits of channel at Koźmin-KN site

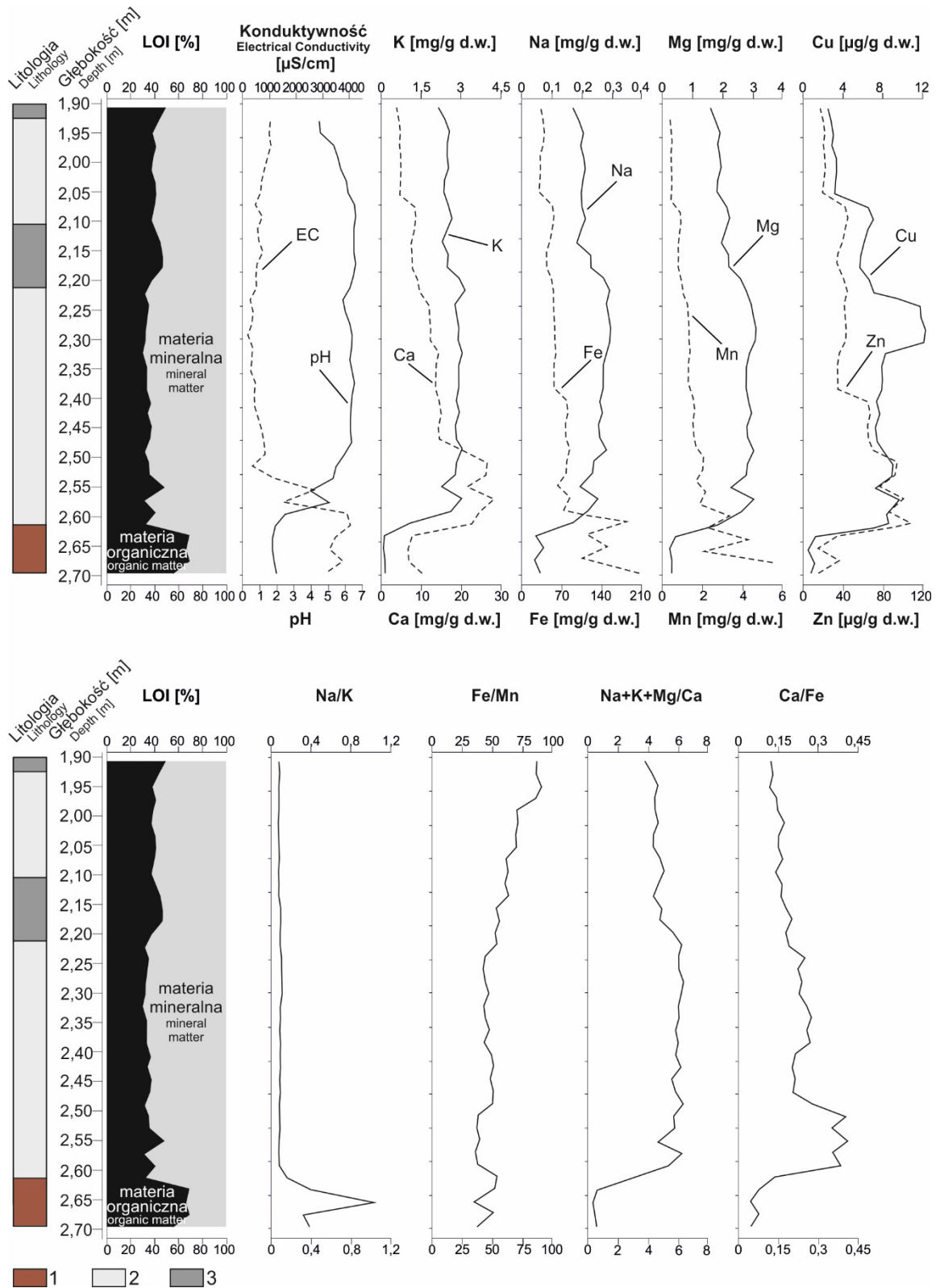
nie kwaśny (w klasyfikacji Turskiego i in. 1986) odczyn osadu sięgający wartości 2 (rys. 5). Zwraca uwagę także bardzo wysoka konduktywność w tej części profilu, osiągająca w próbce z głębokości 2,61 m wartość prawie  $5000 \mu\text{S}/\text{m}^2$ , w kolejnych próbkach obniża się jednak, synchronicznie ze wzrostem odczynu, który na głębokości 2,55 m stabilizuje się na poziomie około 5,5 (rys. 5) – typowego dla utworów kwaśnych i lekko kwaśnych (w klasyfikacji Turskiego i in. 1986). W środkowej części badanego profilu zaznacza się stabilizacja opisywanych parametrów, udział materii organicznej wynosi około 32–37%, odczyn osadów mieści się między 6,0 a 6,5, zaś konduktywność nie przekracza  $500 \mu\text{S}/\text{m}^2$ . Dopiero powyżej próbki z głębokości 2,19 m widoczne jest większe zróżnicowanie parametrów. Zawartość materii organicznej wyraźnie wzrasta, konduktywność również osiąga większe wartości i jest mniej stabilna, przekraczając w spągowych próbkach  $1000 \mu\text{S}/\text{m}^2$ . W tym odcinku zawartość materii organicznej ponownie jest dość wysoka, a odczyn osadów wynosi poniżej 5,0 (rys. 5).

Stratygraficzne zróżnicowanie składu chemicznego osadów przedstawione na diagramie geochemicznym (rys. 5) wskazuje, że najniższe

koncentracje większości pierwiastków występują w gytii grubodetrytusowej (ze średnim udziałem materii organicznej na poziomie prawie 69%). Wyjątkiem są tutaj Fe i Mn, gdyż ich koncentracje są najwyższe i odpowiednio wynoszą 107–209 mg/g s.m. oraz 2,16–5,16 mg/g s.m.

W wyżej leżącej warstwie gytii ilastej, ze średnim udziałem materii organicznej na poziomie 34,6% i brakiem  $\text{CaCO}_3$ , wyraźnie wzrasta udział koncentracji Na (z 0,17 mg/g s.m. do 0,3 mg/g s.m.), K (z 1,04 mg/g s.m. do 3,17 mg/g s.m.), Ca (z 23 mg/g s.m. do 29 mg/g s.m.), Mg (z 1,82 mg/g s.m. do 31,7 mg/g s.m.) oraz Cu (z 86 mg/g s.m. do 123,3  $\mu\text{g}/\text{g}$  s.m.). Ponadto w opisywanej warstwie gytii, mimo mało wyraźnych zmian udziału materii organicznej (maksymalny rozstęp wynosi 15%), obserwuje się wyraźny trend spadkowy koncentracji Zn (z 1015,2  $\mu\text{g}/\text{g}$  s.m. do 349,3  $\mu\text{g}/\text{g}$  s.m.). Biorąc pod uwagę nieco niższe wartości wskaźnika Fe/Mn, można stwierdzić, że w czasie akumulacji omawianej serii osadów limnicznych panowały przy dnie warunki oksydacyjne.

W stropowej części profilu (głębokość: 2,19–1,91 m) obserwuje się niemal jednakową, lecz zarazem nieco niższą koncentrację pierwiastków

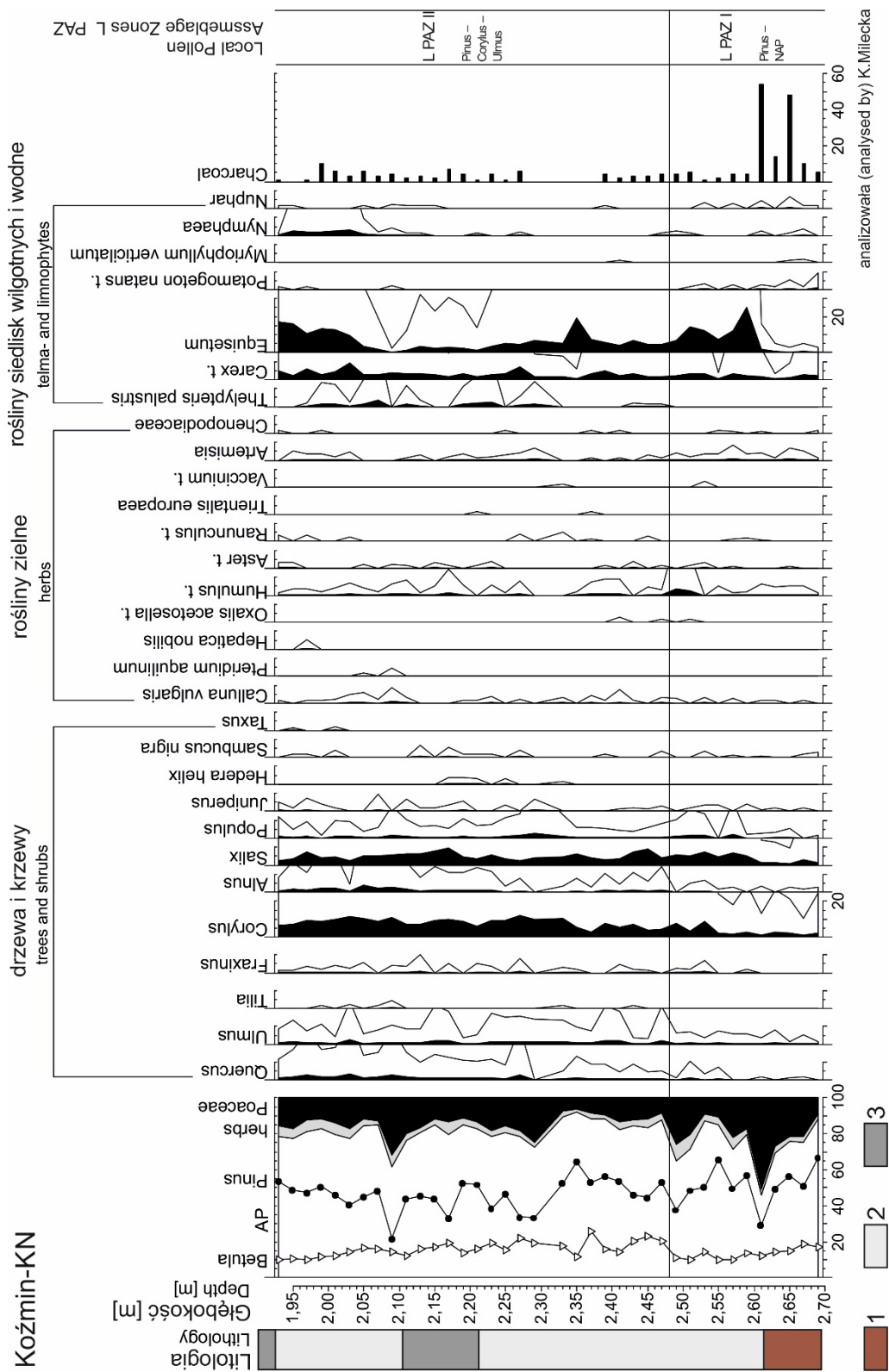


Rys. 5. Stratygraficzna zmienność wskaźników fizykochemicznych i składu chemicznego na tle litologii i osadów koryta w stanowisku Koźmin-KN

1 – gytia grubodetrytusowa, 2 – gytia ilasta, 3 – gytia organiczno-ilasta

Stratigraphic changes of physicochemical features and geochemical composition around the lithology of deposits of channel at Koźmin-KN site

1 – coarse-detritious gyttja, 2 – clay gyttja, 3 – organic-clay gyttja



Rys. 6. Procentowy diagram pyłkowy dla osadów z koryta w stanowisku Koźmin-KN, wybrane taksony

1 – gytia grubodetrytusowa, 2 – gytia ilasta, 3 – gytia organiczno-ilasta

Percentage pollen diagram of deposits of channel at Koźmin-KN site, selected taxa

1 – coarse-detritous gyttja, 2 – clay gyttja, 3 – organic-clay gyttja

litofilnych, w tym Na: 0,17–0,23 mg/g s.m., K: 2,14–2,65 mg/g s.m. oraz Mg: 1,59–2,25 mg/g s.m. Ponadto, wraz z upływem czasu, niemal dwukrotnie spadła zawartość Ca, Fe i Mn. Trend wzrostowy wyników wskaźnika Fe/Mn dowodzić może akumulacji osadów w warunkach coraz bardziej redukcyjnych bądź zmianie odczynu pokrywy glebowej w otoczeniu paleokoryta i selektywnej migracji pierwiastków syderofilnych.

Procentowy diagram pyłkowy wybranych taksonów zidentyfikowanych w profilu osadów ze stanowiska Koźmin-KN (rys. 6) podzielono na dwa poziomy pyłkowe. Poziom LPAZ I *Pinus* – NAP w zakresie głębokości 2,69–2,48 m cechuje wysoka, z reguły ponad 50% zawartość ziaren pyłku sosny *Pinus* oraz zmienna, ale wysoka zawartość ziaren pyłku traw Poaceae. W znaczącej ilości stwierdzono również występowanie pyłku wierzby *Salix* oraz ciągłą krzywą leszczyny *Corylus*, która w młodszej części poziomu wyraźnie się podnosi. Obecne są składniki zielne flory: *Aster* typ, *Ranunculus* typ, *Artemisia*. Siedliska lokalne, wilgotne reprezentują turzyce *Carex* oraz liczna populacja skrzypów *Equisetum*. W środowisku wodnym występowały rdestnice *Potamogeton*, grzybienie *Nymphaea* i grązele *Nuphar*.

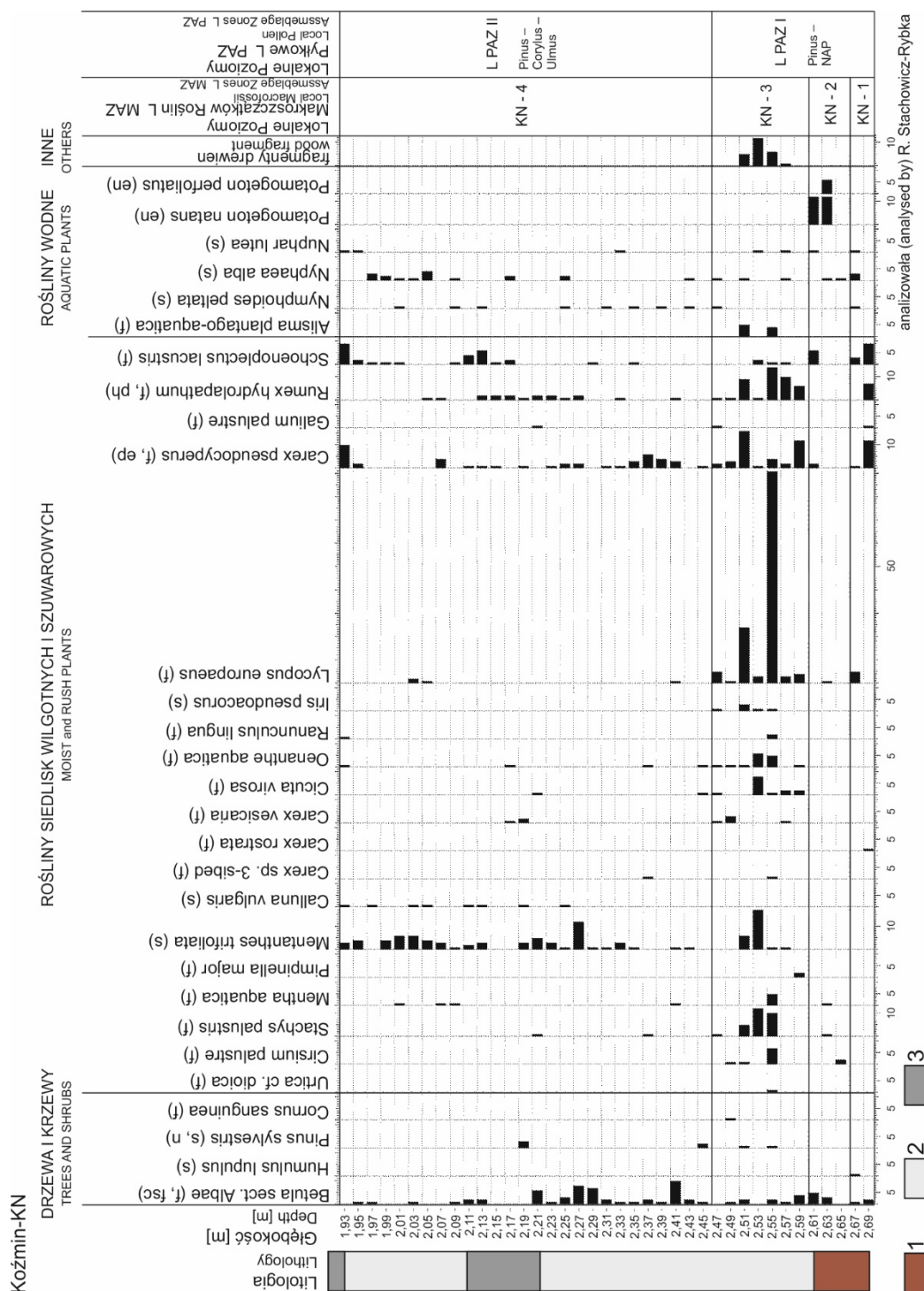
W drugim poziomie pyłkowym LPAZ II, *Pinus* – *Corylus* – *Ulmus* obejmującym zakres głębokości 2,48–1,93 m początkowo zaznacza się jeszcze wysoki udział sosny, który w krótkim czasie obniża się na korzyść traw. Równocześnie wzrasta krzywa pyłkowa leszczyny. Występują ciągłe, choć niskie krzywe wiązu *Ulmus* i dębu *Quercus*. Ich udział procentowy sporadycznie przekracza 1% sumy kalkulacyjnej. Zawartość wierzby *Salix* jest zmienna, ale utrzymuje się na poziomie kilku procent udziału. Pojawiają się składniki krzewinkowe i zielne typowe dla zbiorowisk leśnych: wrzos *Calluna vulgaris* występujący od najstarszych warstw analizowanych osadów oraz paproć orlica *Pteridium aquilinum*, przylaszczka *Hepatica* i szczawik zajęczy *Oxalis acetosella*.

Analiza makroszczątków roślin, bazująca na obecności najbardziej licznych lub diagnostycznych taksonów, pozwoliła na wydzielenie czterech lokalnych poziomów (L MAZ) (rys. 7). Poziom KN-1 LMAZ (2,69–2,67 m) charakteryzuje dominacja szczątków roślin szuwarowych, zwłaszcza *Carex pseudocyperus*, *Rumex hydrolypathum* oraz *Schoenoplectus lacustris*. Liczne są także inne taksony zasiedlające miejsca wilgotne i bagienne, takie jak *Lycopus europaeus* i *Carex rostrata*. Wśród roślin wodnych dominowały taksony typowe dla płytkich eutroficznych wód stoją-

cych i wolno płynących, takie jak *Nymphaea alba*, *Nuphar lutea* i *Nymphoides peltata*. Obecne są również nieliczne szczątki *Betula* sect. *Albae* oraz *Humulus lupulus*. W poziomie KN-2 LMAZ (2,65–2,61 m) radykalnie spada udział szczątków roślin szuwarowych i siedlisk wilgotnych. Pozostają nieliczne *Carex pseudocyperus*, *Schoenoplectus lacustris* oraz *Lycopus europaeus*. Wilgotne gleby na brzegach zajmowały *Cirsium palustre*, *Mentha aquatica* oraz *Stachys palustris*. Obecne były także szczątki *Betula* sect. *Albae*. Tylko w tym poziomie pojawiają się endokarpy *Potamogeton natans* i *P. perfoliatus*. Poziom KN-3 LMAZ (2,59–2,47 m) odznacza się dominacją szczątków roślin siedlisk szuwarowych. Znaczny udział ma *Lycopus europaeus*, liczne są także *Carex pseudocyperus* oraz *Rumex hydrolypathum*. Siedliska wilgotne były dobrze reprezentowane przez szczątki roślin preferujących siedliska o wysokiej trofii, między innymi *Iris pseudoacorus*, *Oenanthe aquatica*, *Cicuta virosa*, *Stachys palustris*, *Mentha aquatica* oraz mezotroficznych, takich jak *Menyanthes trifoliata*. Wśród drzew i krzewów pojawił się *Cornus sanguinea*. Liczne były także fragmenty drewn. Ostatni poziom – KN-4 LMAZ (2,45–1,93 m) charakteryzuje zmienna dominacja szczątków roślin drzew, zwłaszcza *Betula* sect. *Albae*, a także szczątków roślin siedlisk wilgotnych i zatorfionych, takich jak *Menyanthes trifoliata*, *Calluna vulgaris* i różnych gatunków Cyperaceae. Nadal bardzo liczne, ale w zmiennych proporcjach, były szczątki roślin szuwarowych, w tym zwłaszcza *Carex pseudocyperus*, *Schoenoplectus lacustris* oraz *Rumex hydrolypathum*. Podobnie jak w poprzednim poziomie obecne były nasiona roślin wodnych, takich jak *Nymphaea alba*, *Nuphar lutea* i *Nymphoides peltata*.

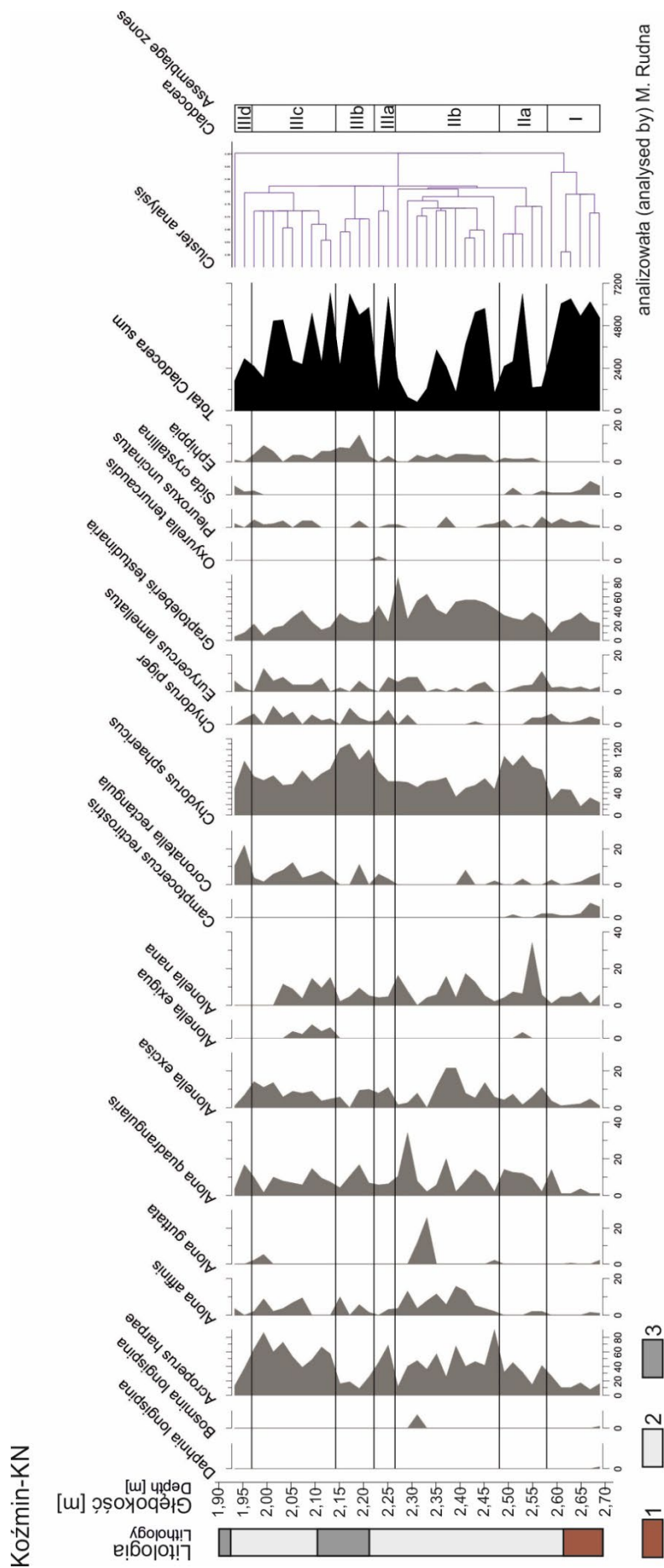
Analiza subfosylnej fauny Cladocera pozwoliła na stwierdzenie występowania 18 gatunków należących do czterech rodzin: Daphniidae, Bosminidae, Chydoridae i Sididae. W badanym zbiorniku dominowały gatunki litoralne, a gatunki planktonowe pojawiały się sporadycznie w zaledwie dwóch próbkach. Zmienność składu gatunkowego i frekwencji osobników pozwoliła na wydzielenie trzech faz rozwoju Cladocera (rys. 8). Poprawność wydzielonych faz Cladocera została potwierdzona w programie statystycznym PAST 4.03 przy użyciu indeksu Braya-Curtisa.

Faza LCAZ I (2,69–2,59 m) charakteryzuje się bogactwem gatunkowym Cladocera, występuje tu 16 gatunków, w tym dwa gatunki planktonowe (*Daphnia longispina* i *Bosmina longispina*) stanowiące niecałe 2%. Dominują gatunki litoral-



Rys. 7. Diagram makroszczątków roślin z osadów z koryta w stanowisku Koźmin-KN, wybrane taksony o – owoce, s – nasiono, fo – łuska owocowa, en – endokarp, i – igła, ok – okwiat, ep – epikarp; 1 – gytia grubodetrytusowa, 2 – gytia ilasta, 3 – gytia organiczno-ilasta

Macrofossil plant diagram of deposits of channel at Koźmin-KN site, selected taxa  
 o – fruit, s – seed, fo – fruit scale, en – endokarp, i – needle, ok – perianth, ep – epicarp; 1 – coarse-detritous gyttja, 2 – clay gyttja, 3 – organic-clay gyttja



Rys. 8. Diagram procentowej zawartości szczątków wioślarek (Cladocera) zawartych w 1 cm<sup>3</sup> osadu ze stanowiska Koźmin-KN  
 1 – gytia grubodetrytusowa, 2 – gytia ilasta, 3 – gytia organiczno-ilasta

Diagram of percentage composition of Cladocera specimens in sediments of Koźmin-KN site  
 1 – coarse-detritous gyttja, 2 – clay gyttja, 3 – organic-clay gyttja

ne (98%), takie jak: *Chydorus sphaericus* (32%) oraz *Graptoleberis testudinaria* (25%). Maksymalna frekwencja osobników wynosiła 6300 os/cm<sup>3</sup>. Łącznie w fazie LCAZ II (2,57–2,27 cm) rozpoznano 16 gatunków Cladocera, których najwyższa frekwencja wynosiła 6600 os/cm<sup>3</sup> na początku fazy, natomiast pod koniec spadła do 510 os/cm<sup>3</sup>; była to najniższa wartość w całym profilu. Faza ta podzielona została na dwie podfazy a i b. W podfazie IIa stwierdzono występowanie 14 gatunków Cladocera, dominowały *Ch. sphaericus* (48%), *Acroperus harpae* (17%) i *G. testudinaria* (16%). Natomiast w podfazie IIb zidentyfikowanych zostało 13 gatunków wioślarek, spadł udział *Ch. sphaericus* do 28%, wzrósł udział *G. testudinaria* (16%) i *A. harpae* (16%). Pojawił się także planktonowy gatunek *B. longispina*.

Faza LCAZ III (2,25–1,93 m) odznaczała się wzrostem liczebności osobników; łącznie zidentyfikowano w niej 16 gatunków Cladocera. Ze względu na zróżnicowanie składu gatunkowego w fazie III podzielona została ona na cztery podfazy. W podfazie IIIa liczebność osobników Cladocera waha się od 6450 os/cm<sup>3</sup> do 1010 os/cm<sup>3</sup> pod jej koniec. Dominującymi gatunkami nadal są te, które najliczniej występowały w fazie II. Podfaza IIIb charakteryzuje się nagłym wzrostem frekwencji osobników Cladocera, na początku wynosi ona 5850 os/cm<sup>3</sup>, natomiast pod koniec spadła do 2525 os/cm<sup>3</sup>. Zdecydowanym dominantem był *Ch. sphaericus* (59%). Podfaza IIIc odznacza się najwyższą frekwencją osobników wioślarek w całym profilu. Na początku wynosi ona 6650 os/cm<sup>3</sup> i waha się do 1833 os/cm<sup>3</sup> pod koniec fazy. W tej podfazie następuje drastyczny spadek udziału wcześniej dominującego gatunku *Ch. sphaericus* do 3%, a przeważającymi gatunkami są *Chydorus piger* (35%) oraz *Alona affinis* (30%). Ostatnia podfaza IIId cechuje się niską i sukcesywnie spadającą liczebnością osobników Cladocera od 2925 os/cm<sup>3</sup> do 1700 os/cm<sup>3</sup>. Wśród gatunków najliczniej występujących powraca *Ch. sphaericus* (50%) oraz *A. harpae* (17%).

## Etapy rozwoju koryta

Rozległe odsłonięcia w odkrywkach kopalnianych pozwoliły na udokumentowanie późnowistulian- skich utworów rzecznych w zróżnicowanych sekwencjach litologicznych i sedimentologicznych (Petera 2002). Koryto w stanowisku Koźmin-KN rozcina starsze aluwia, które były kształtowane u schyłku ostatniego zlodowacenia (Lisek 2017;

Lisek, Petera-Zganiacz 2017). Najgrubsze osady zarejestrowane w stanowisku, zawierające drobny żwir, znajdują się w spągu wypełnienia i stanowią bruk erozyjny. Świadectwem aktywności koryta w początkowej fazie jego istnienia jest obecność zespołu litofacji typowych dla platformy odsypu meandrowego – litofacje piaszczyste deponowane były podczas wezbrań, a litofacje drobnoziarniste wzbogacone w detrytus roślinny podczas słabych przepływów przy średnich stanach wód (Zieliński 2014). Niewielka szerokość tego zespołu litofacji wskazuje na krótkie funkcjonowanie koryta przed jego odcięciem i przejściem w fazę starorzecza. Gwałtowna zmiana stylu sedymentacji z fluwialnej w jeziorną wyrażoną depozycją gyty jest wskazówką awulsji jako procesu odpowiedzialnego za porzucenie koryta (Zieliński 2014).

**Faza jeziorna** trwała ponad tysiąc lat, zaczęła się około 10,5 cal ka BP, a jej koniec nastąpił około 9,3 cal ka BP. Okres ten obejmuje młodszą część preboreału oraz starszą część boreału (Starckel i in. 2013). Inwersja dat radiowęglowych w środkowej części profilu utrudnia interpretację, ale zaznaczyć należy, że zakresy dat kalibrowanych są bliskie zazębienia (rys. 3).

Parametry fizykochemiczne gyty wskazujące na nietypowo bardzo niski odczyn osadu w spągowej części profilu z towarzyszącą mu wysoką konduktywnością świadczą o znaczącej mineralizacji wody w zbiorniku. Odpowiedzialny za to może być duży udział węgla drzewnych w tym odcinku profilu.

Środkowa część profilu powstawała w najspokojniejszych warunkach. Miała miejsce stała, wysoka dostawa substancji mineralnych przy dość wysokim odczynie oraz konduktywności osadów, typowych dla dolinnych środowisk akumulacji biogenicznej zasilanych wodami rzeczными, stosunkowo bogatymi w materiał zawieszony (Rydelek 2011; Pawłowski i in. 2014; Antczak-Orlewska i in. 2022). Górna część badanego profilu wskazuje na większą dynamikę zmian parametrów fizykochemicznych. Zarówno obniżenie dostawy materiału mineralnego, jak i obniżanie odczynu przy wzroście konduktywności mogą wskazywać na nieco rzadsze wlewanie się rzecznych wód powodziowych, a zapewne także wypływanie zbiornika, wynikające z akumulacji kilkudziesięciu centymetrów osadów dennych, jak i obniżenie poziomu wody w dnie doliny.

Geochemiczny zapis zmian środowiskowych potwierdza, że kluczową rolę w omawianym odcinku doliny Warty odegrały procesy fluwialne o zróżnicowanym natężeniu. Wyrażają się one nie tylko wartościami bezwzględnyymi oznaczonych

pierwiastków, ale także wynikami stosunków Fe/Mn, Ca/Fe, Na/K oraz Na+K+Mg/Ca (rys. 5). Przebieg zmian tych parametrów jest zgodny z zapisem w innych stanowiskach osadów biogenicznych wypełniających starorzeczka w niżowej części Polski (por. Pawłowski i in. 2015, 2016; Gałka i in. 2020).

Skład chemiczny spągowej części profilu w stanowisku Koźmin-KN stanowi zapis eutrofizacji i deficytu tlenowego w wodnym środowisku akumulacyjnym. Najbardziej organiczny odcinek badanego profilu zawiera również kilkukrotnie więcej Fe i Mn w porównaniu z osadami środkowej i stropowej części profilu. Jest to zapewne związane nie tylko z właściwościami bioakumulacyjnymi materii organicznej, ale także z przewagą zasilania rzeczno lub powierzchniowego. Szczególnie niskie dla tej serii są współczynniki koncentracji Ca i Mg, gdyż koncentracja tych pierwiastków w porównaniu ze skałą macierzystą dochodzi jedynie do wartości około 20. Jedyne raz zanotowana przewaga zawartości sodu nad potasem w tej warstwie stanowi zapis przewagi procesów denudacji chemicznej w otoczeniu paleokoryta.

Wraz z narastaniem gytii ilastej w środkowej części profilu wyraźnie wzrosła koncentracja pierwiastków litofilnych, których maksymalne sumy (przekraczające 5 mg/g s.m.) udokumentowano na głębokości 2,53–2,19 m. Wartości wskaźnika Na/K są mało zmienne, ale zawsze niższe od 1, co wskazuje na przewagę denudacji mechanicznej, a w środowisku doliny rzecznej należy czytać jako zapis wlewów wód powodziowych obciążonych zawiesiną. Fakt ten potwierdza również przewaga ilości próbek zamulonych (udział materii mineralnej zawsze jest powyżej 50%, a często nawet powyżej 60%) nad utworami niezamulonymi w klasyfikacji według Okruszki (1976). Utwory te akumulowane były przy zmiennym poziomie wody, niemniej wartości stosunku Fe/Mn zawsze były stosunkowo niskie (poniżej 50), dowodząc tym samym funkcjonowania w paleokorycie raczej warunków typowych dla środowisk oksydacyjnych.

Skład chemiczny osadów w stropowej części profilu stanowi zapis osłabionej dostawy i bioakumulacji większości pierwiastków. Proces sedymentacji osadów biogenicznych był początkowo związany ze spadkiem dopływu materii mineralnej (spadek udziału tego składnika w osadzie nawet o 12%) przy stopniowo pogarszających się warunkach oksydacyjnych (wzrost wskaźnika Fe/Mn z 43 do nieco ponad 86). Charakterystyczny kilkukrotny spadek koncentracji Ca i Mg w omawianej warstwie osadów pokazuje, że bio-

akumulacja tych pierwiastków silnie zależała od lokalnych warunków hydrogeologicznych (między innymi trwałym nasycenie wodą piaszczysto-mułkowego podłoża szerokiej doliny). W świetle badań geochemicznych o zasięgu regionalnym to właśnie zmiany koncentracji Ca i Mg zdaniem Okupnego (2023) należy wyjaśniać w kontekście warunków geomorfologicznych. W przypadku Kotliny Kolskiej to niskie spadki terenu oraz gęsta sieć koryt rzecznych mogły sprzyjać intensywnemu przemywaniu pokrywy glebowej i migracji wybranych pierwiastków na duże odległości.

Diagram pyłkowy prezentuje starszą część holocenu, w tym młodszą część okresu preborealnego (Starkel i in. 2013) oraz starszą część okresu borealnego. Początkowo dominowały zbiorowiska trawiaste, co oznacza obecność rozległych terenów otwartych w obrębie doliny, a także poza nią. Po kulminacji udziału traw aż do stropowych warstw osadów zaznacza się istotna rola lasów łągowych w dolinie rzecznej. Podkreśla ją liczny udział pyłku wierzby (*Salix*), które są podreprezentowane w spektrach, a 2% zawartości świadczy o opanowaniu rozległych powierzchni przez zbiorowiska wierzbowe. Znaczący jest także udział topoli (*Populus*) i innych składników łągowych, takich jak bez czarny (*Sambucus nigra*) oraz chmiel (*Humulus*) (rys. 6).

Niewielki zbiornik akumulacji biogenicznej posiadał ograniczony promień alimentacji. Świadczy o tym wysoki i zmienny w szerokich granicach udział traw Poaceae i innych składników siedlisk wilgotnych (*Carex* typ, *Equisetum*, *Thelypteris palustris*, *Calluna vulgaris*). Obok wspomnianych wcześniej łągów odzwierciedlają one funkcjonowanie w pobliżu otwartych zbiorowisk roślinnych o charakterze mezo-eutroficznym na siedliskach wilgotnych.

Wyniki analizy makroszczątkowej wskazują, że początek sedymentacji rozpoczyna się w płytkim zbiorniku o eutroficznych wodach. Ślady w pełni rozwiniętego zbiorowiska w typie szuwaru wielkoturzycowego pojawiają się już w spągowej próbce profilu. Z czasem dochodzi do nieznacznego podniesienia poziomu wody (KN-2 L MAZ) i wykształcenia się zbiorowisk w typie Nymphaeion OBERD. 1953 z *Potamogeton natans*, *P. perfoliatus*, *Nymphoides peltata*, *Nymphaea alba* oraz *Nuphar lutea* (Matuszkiewicz 2008). Pod koniec fazy KN-3 L MAZ (L PAZ I) poziom wody obniżył się, a na teren spływającego się zbiornika wkroczyły zbiorowiska w typie płaszalejowego (*Cicuto-Caricetum pseudocyperi*). Jest to zespół roślinności szuwarowej zbudowany głównie z *Cicuta virosa* i *Carex pseudocyperus*.



Oprócz tych gatunków oznaczono kilka innych taksonów zwykle występujących we współczesnych zbiorowiskach tego typu. Można do nich zaliczyć *Carex rostrata*, *Carex vesicaria*, *Galium palustre*, *Iris pseudacorus*, *Oenanthe aquatica*, *Ranunculus lingua*, *Alisma plantago-aquatica* i *Rumex hydrolapathum*. Takie zbiorowiska zwykle występują drobnopowierzchniowo w płytkich zbiornikach mezo- i eutroficznych o zmiennym poziomie wody. Kolejny etap rozwoju paleozbiornika odpowiadający fazie KN-4 L MAZ (LPAZ II) jest zapisany w osadach deponowanych w podobnych warunkach płytkiego zbiornika, ale o nieco niższej trofii. Świadczy o tym obecność licznych nasion *Menyanthes trifoliata* oraz *Calluna vulgaris*. Kilukrotnie naprzemienne pojawianie się i zanikanie *Betula sect. Albae* oraz zespołu roślinności szuwarowej, w tym zwłaszcza *Carex pseudocyperus* i *Schoenoplectus lacustris*, wskazuje na zmieniający się okresowo poziom wody. Pomimo tego zbiornik do końca swego istnienia nie uległ pełnemu zładowaceniowi. Taksony takie jak *Nymphaea alba* czy *Nuphar lutea* są notowane przez cały czas aż do stropowej części warstw osadów organicznych w postaci zarówno nasion, jak i ziaren pyłku (rys. 6, 7).

Rozwój Cladocera w początkowej fazie rozwoju zbiornika (LCAZ I) odbywał się w dogodnych warunkach, o czym świadczy duża różnorodność gatunkowa oraz brak występowania jaj przetrwalnikowych – efipiów, które wytwarzane są pod wpływem stresu środowiskowego (Zawiska 2021). Występują także gatunki planktoniczne (*D. longispina* i *B. longispina*), które dowodzą występowania w zbiorniku otwartej toni wodnej, jednak zważając na ich niewielką frekwencję, można stwierdzić, iż zbiornik nie był głęboki. Występują także gatunki żyjące w asocjacji z roślinnością wodną (*G. testudinaria*, *Sida crystallina*, *Pleuroxus uncinatus*) oraz odporne na niskie pH (*Alonella excisa*, *Alona guttata*). W kolejnym etapie (LCAZ IIa) zbiornik zdominowany był przez *Ch. sphaericus*, który jest najbardziej kosmopolitycznym ze wszystkich Cladocera (Fryer 1968), co wraz z pojawieniem się efipiów może świadczyć o pogorszeniu warunków środowiskowych. Wzrasta udział *A. excisa*, *Alonella nana* oraz pojawia się także *Alonella exigua*, co wskazuje na utrzymujące się niskie pH. W następnym etapie (LCAZ IIb) spadła ogólna frekwencja wioślarek przy jednoczesnym wzroście udziału gatunków z grupy *arctic species*, takich jak: *A. harpae*, *Alona affinis* oraz *Ch. Sphaericus*. Taki skład gatunkowy świadczy o spadku temperatury wód w zbiorniku; oprócz tego niekorzystne warunki

siedliskowe sugeruje niewielki wzrost udziału efipiów. Występują także gatunki wskaźnikowe rosnącej eutrofizacji – *Alona guttata* (Szeroczyńska 1985; Zawiska 2021) i żyjące w asocjacji z roślinnością (*Graptoleberis testudinaria*), co wskazuje na postępujące zarastanie zbiornika. Zmienność we frekwencji Cladocera w kolejnym etapie rozwoju zbiornika (LCAZ IIIa, b, c) związana jest prawdopodobnie z wahaniami poziomu wody, widoczny jest także wzrost liczebności efipiów, co sugeruje pogorszenie warunków dla rozwoju wioślarek. Zauważalny jest także wzrost eutrofizacji, o którym świadczy z kolei wzrost udziału gatunków wskaźnikowych rosnącej eutrofizacji w zbiorniku – *Ch. Sphaericus* i *Coronatella rectangularis*. W końcowym etapie (LCAZ III d) postępuje zarastanie zbiornika, na co wskazuje między innymi *A. harpae*, który występuje w silnie zarosniętych zbiornikach (Rybak, Błędzki 2010). Następuje także ponowny spadek pH (*A. excisa*, *Alonella exigua*).

**Kolejny etap** rozwoju koryta wiązał się z ponownym uruchomieniem przepływu. Po wschodniej stronie koryta zachowały się ławice typu ECS (*epsilon cross-stratification*) wyrażone naprzemianległymi warstwami piasków i drobniejszych frakcji często zawierających detrytus roślinny, które formują się w obrębie platformy odsypu meandrowego. Charakter deformacji znajdujących się w stropowej warstwie dolnej ławicy odzwierciedla utrwalone zwitki błotne, co z kolei sugeruje, że okresowo stan wody w korycie był na tyle niski, że doszło do odsłonięcia platformy odsypu i przesuszenia drobnego materiału pokrywającego jego powierzchnię. Stopniowe zapełnianie koryta zostało przerwane erozją, w wyniku której powstało rozcięcie sięgające stropu osadów organicznych. Jest ono stosunkowo wąskie i głębokie, a styl wypełnienia wskazuje, że mógł to być kanał przelewowy powstały podczas intensywnej powodzi (Zieliński 2014).

Wyniki analiz uziarnienia także świadczą o zmiennych przepływach w korycie i składaniu osadów wzbogaconych zarówno we frakcje drobniejsze od frakcji najczęściej występującej (na przykład podczas zmniejszania się przepływu w korycie i spadku ustroju prądu), jak i we frakcje bardziej gruboziarniste od frakcji modalnej (na przykład w sytuacjach narastania przepływu w korycie i wzrostu ustroju prądu). W generalnych zarysach cechy teksturalne osadów korytowych wypełniających badane koryto w stanowisku Koźmin-KN bardzo dobrze odpowiadają cechom potencjalnych utworów źródłowych (rys. 4). Transformację uziarnienia materiału w holocenijskim ko-

rycie wielokorytowej Warty – rzeki *anabranching* typu II – należy uznać za praktycznie nieistotną.

## Podsumowanie

Koryto w stanowisku Koźmin-KN zostało ukształtowane w okresie preborealnym i najprawdopodobniej dość krótko funkcjonowało jako aktywny element systemu fluwialnego, o czym świadczą osady mineralne deponowane w warunkach prądowych o małej miąższości. Faza jeziorna rozpoczęła się pod koniec okresu preborealnego. Funkcjonowało wtedy niewielkie jezioro, które wypełniało się utworami organiczno-mineralnymi w dość spokojnych warunkach równi zalewowej. Zawartość materii organicznej od 30% do 70% wskazuje na raczej ograniczoną dostawę drobnoziarnistego allochtonicznego materiału mineralnego, który mógł pochodzić zarówno z lokalnej dostawy z terenu sąsiedztwa paleokoryta, brzegów koryta, jak i docierać wraz z wodami powodziowymi lub był wytrącany z zawiesiny. Te generalne tendencje odznaczały się jednak zmiennością w czasie istnienia zbiornika. W początkowym okresie był on najgłębszy, miał charakter eutroficzny, co najwyraźniej wykazały analizy geochemiczne i makroszczątków. Nagromadzenie węgla drzewnych w zbiorniku poskutkowało znacznym zakwaszeniem wody, zbiornik zasiedlały wtedy gatunki wioślarek tolerujące niskie pH. Następnie zwiększyła się dostawa materiału mineralnego do zbiornika, co mogło wiązać się ze wzmożeniem aktywności procesów fluwialnych i zintensyfikowaniem powodzi. Tą drogą dostarczany był materiał mineralny, ale też zdarzenia te wpływały na destabilizację funkcjonowania wioślarek. Ponadto powódzie w dolinie mogły wpływać na lokalne zmiany w szacie roślinnej poprzez powstawanie form akumulacyjnych, które zasiedlane były w pierwszej kolejności przez trawy. W końcowym etapie zbiornik wypłycał się, choć do końca fazy jeziornej nie zarósł całkowicie. Zaznaczały się wtedy wahania poziomu wody. Faza ta zakończyła się w starszej części okresu borealnego. Młodsza faza fluwialna początkowo także odznaczała się wahaniami poziomu wody, o czym świadczą ślady przesuszenia osadów korytowych. Koryto ulegało stopniowemu zapełnianiu w warunkach wody płynącej.

Uzyskane wyniki badań pozwoliły na odtworzenie sekwencji zdarzeń zapisanych w osadach wypełniających koryto w stanowisku Koźmin-KN, jednak nie pozwoliły na dokładniejsze usta-

lenie chronologii zdarzeń i bardziej precyzyjne umieszczenie ich na skali czasu.

Dziękujemy anonimowym Recenzentom za cenne uwagi do tekstu.

Składamy także podziękowania za możliwość przeprowadzenia badań dyrekcji ówczesnej PAK KWB Adamów oraz Gminie Brudzew za okazane wsparcie.

## Literatura

- Antczak-Orlewska O., Okupny D., Kruk A., Bailey R.I., Płóciennik M., Sikora J., Krąpiec M., Kittel P. 2022. The spatial and temporal reconstruction of a medieval moat ecosystem. *Scientific Reports* 12: 20679.
- Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojaska U., Prusinkiewicz Z. 2011. Badania ekologiczno-geboznawcze. PWN, Warszawa.
- Berglund B.E., Ralska-Jasiewiczowa M. 1986. Pollen analysis. W: B.E. Berglund (red.) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. John Wiley&Sons, Chichester: 455-484.
- Borówka R.K. 1990. Late Vistulian and Holocene denudation magnitude in morainic plateau: case studies in the zone of maximum extent of the last ice sheet. *Quaternary Studies in Poland* 9: 5-31.
- Bronk Ramsey C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51(1): 337-360.
- Czarnik J. 1972. Paleogeografia okolic Turka w górnym. trzeciorzędzie i plejstocenie. *Studia Geologica Polonica* 40.
- Czubła P., Forysiak J., Petera-Zganiacz J., Grajowski M., Wiśniewska M. 2013. Charakterystyka litologiczno-petrograficzna osadów czwartorzędowych w dolinie Warty (stanowisko Koźmin-Północ). *Przegląd Geologiczny* 61(2): 120-126.
- Dzieduszyńska D., Kittel P., Petera-Zganiacz J., Brooks S.J., Korzeń K., Krąpiec M., Pawłowski D., Płaza D.K., Płóciennik M., Stachowicz-Rybka R., Twardy J. 2014. Environmental evidence of forest development and decline in the Warta River valley (Central Poland) during the Late Weichselian. *Quaternary International* 324: 99-114.

- Folk R.L., Ward W. 1957. Brazos River bar: a study in significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27(1): 3-26.
- Forysiak J. 2005. Rozwój doliny Warty między Burzeninem a Dobrowem po zlodowaczeniu warty. *Acta Geographica Lodziensia* 90.
- Forysiak J. 2010. Zastosowanie zdjęć lotniczych do rekonstrukcji układu wielokorytowego środkowej Warty. *Landform Analysis* 13: 13-18.
- Frey D.G. 1986. Cladocera Analysis. W: B.E. Berglund (red.) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. The Blackburn Press, Caldwell, USA: 667-692.
- Fryer G. 1968. Evolution and Adaptive Radiation in the Chydoridae (Crustacea: Cladocera): A Study in Comparative Functional Morphology and Ecology. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 254(795): 221-382.
- Gałka M., Lewandowska A., Niedzielski P., Sim T.G., Swindles G.T., Szczurek G. 2020. Late Glacial and early Holocene development of an oxbow lake in Central Europe (Poland) based on plant macrofossil and geochemical data. *The Holocene* 30(1): 178-189.
- Gradziński R., Kostecka A., Radomski A., Unrug R. 1986. Zarys sedymentologii. Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Juggins S.C. 2007. Version 1.5: Software for Ecological and Palaeoecological Data Analysis and Visualisation. Available. Online: <https://eprints.ncl.ac.uk> (data ostatniego dostępu: 24. 11. 2022).
- Kittel P. 2015. The alternative interpretation of chronology of flood events in the mid-Warta River valley: Record of Early Holocene alluviation in the Koło Basin (central Poland). *Quaternary International* 386: 116-121.
- Kittel P., Mazurkevich A., Alexandrovskiy A., Dolbunova E., Krupski M., Szmańda J.B., Stachowicz-Rybka R., Cywa K., Mroczkowska A., Okupny D. 2020. Lacustrine and slope deposits in the wetland shore area in Serteya, Western Russia. *Acta Geographica Lodziensia* 110: 103-124.
- Kurek J., Korosi J.B., Jeziorski A., Smol J.P. 2010. Establishing reliable minimum count sizes for cladoceran subfossils sampled from lake sediments. *Journal of Paleolimnology* 44: 603-612.
- Lisek M. 2017. Interpretacja sedymentologiczna osadów doliny Warty w okolicach Koźmina. (maszynopis pracy magisterskiej). Uniwersytet Łódzki, Łódź.
- Lisek M., Petera-Zganiacz J. 2017. Cechy uziarnienia vistuliańskich aluwiów w dolinie Warty, Kotlina Kolska. *Acta Geographica Lodziensia* 106: 225-241.
- Matuszkiewicz W. 2008. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. PWN, Warszawa.
- Minczewski J., Marczenko Z. 1978. Chemia analityczna. Analiza instrumentalna. Tom 3. PWN, Warszawa.
- Mycielska-Dowgiałło E. 1995. Wybrane cechy teksturalne osadów i ich wartość interpretacyjna. W: E. Mycielska-Dowgiałło, J. Rutkowski (red.) *Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników*. Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa: 29-105.
- Myślińska E. 2010. Laboratoryjne badania gruntów i gleb. Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Nanson G.C., Knighton A.D. 1996. Anabranching rivers: their cause, character and classification. *Earth Surface Processes and Landforms* 21(3): 217-239.
- Nalepka D., Walanus A. 2003. Data processing in pollen analysis. *Acta Palaeobotanica* 43(1): 125-134.
- Nowak T. 2017. Holoceńskie aluwia wielokorytowego systemu rzeki Warty w Kotlinie Kolskiej w świetle analizy uziarnienia (maszynopis pracy magisterskiej). Uniwersytet Łódzki, Łódź.
- Okruszko H. 1976. Zasady rozpoznawania i podziału gleb hydrogenicznych z punktu widzenia potrzeb melioracji. *Biblioteczka Wiadomości IMUZ* 52: 7-53.
- Okupny D. 2023. Geochemical characteristics of Late Glacial and Holocene biogenic sediments in Central Poland and implications for reconstructing the palaeoenvironment. *Acta Geographica Lodziensia* 113: 47-76.
- Pawłowski D., Gruszka B., Gallas H., Petera-Zganiacz J. 2013. Changes in the biota and sediments of glacial Lake Koźmin, Poland, during the late Saalian (Illinoian). *Journal of Paleolimnology* 49(4): 679-696.
- Pawłowski D., Okupny D., Włodarski W., Zieliński T. 2014. Spatial variability of selected physicochemical parameters within peat deposits in small valley mire: a geostatistical approach. *Geologos* 20(4): 269-288.

- Pawłowski D., Kowalewski G., Milecka K., Płóciennik M., Woszczyk M., Zieliński M., Okupny D., Włodarski W., Forysiak J. 2015. A reconstruction of the palaeohydrological conditions of a flood-plain: a multi-proxy study from the Grabia river valley mire, central Poland. *Boreas* 44(3): 543-562.
- Pawłowski D., Borówka R.K., Kowalewski G., Luoto T.P., Milecka K., Nevalainen L., Okupny D., Płóciennik M., Woszczyk M., Zieliński T., Tomkowiak J. 2016. The response of flood-plain ecosystems to the Late Glacial and Early Holocene hydrological changes: a case study from a small Central European river valley. *Catena* 147: 411-428.
- Petera J. 2002. Vistuliańskie osady dolinne w basenie uniejowskim i ich wymowa paleogeograficzna. *Acta Geographica Lodzienia* 83.
- Petera J., Forysiak J. 2004. Holocenska ewolucja systemu wielokorytowego Warty w okolicach Koźmina. *Acta Geographica Lodzienia* 88: 27-40.
- Petera-Zganiacz J., Andrzejak K. 2014. Uwarunkowana przestrzenne i właściwości serii organicznej zawierającej szczątki lasu z młodszego dryasu w Kotlinie Kolskiej. *Acta Geographica Lodzienia* 102: 39-52.
- Petera-Zganiacz J., Dzieduszyńska D.A., Twardy J., Pawłowski D., Płóciennik M., Lutyńska M., Kittel P. 2015. Younger dryas flood events: A case study from the middle Warta river valley (Central Poland). *Quaternary International* 386: 55-69.
- Petera-Zganiacz J., Piotrowska M., Twardy J., Dzieduszyńska D.A., Okupny D., Forysiak J., Rzepecki S. 2019. Environmental conditions as a key factor in the functioning of wells at a settlement from the Roman period of the Iron Age. *Quaternary International* 501: 250-268.
- Petera-Zganiacz J., Majecka A., Dzieduszyńska D., Forysiak J., Okupny D., Skoczylas-Śniaz S., Stachowicz-Rybka R., Twardy J., Zawiska I. 2024. Warunki paleogeograficzne funkcjonowania kopalnego koryta w stanowisku Koźmin-Głowy; dolina Warty, Kotlinia Kolska. *Acta Geographica Lodzienia* 116: 79-98.
- Pinta M. 1977. Absorpcyjna spektrometria atomowa. Zastosowanie w analizie chemicznej. PWN, Warszawa.
- Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kromer B., Manning S.W., Muscheler R., Palmer J.G., Pearson C., Van Der Plicht J., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Turney C.S.M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S.M., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon* 62(4): 725-757.
- Rybak J.I., Błędzki L.A. 2010. Słodkowodne skorupiaki planktonowe. Klucz do oznaczania gatunków. Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Rydelek P. 2011. Torfowiska niskie Wysoczyzny Lubartowskiej jako potencjalne naturalne bariery geologiczne. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 446: 407-416.
- Solon J., Borzyszkowski J., Bidłasiak M., Richling A., Badora K., Balon J., Brzezińska-Wójcik T., Chabudziński Ł., Dobrowolski R., Grzegorzczak I., Jodłowski M., Kistowski M., Kot R., Krąż P., Lechnio J., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papińska E., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziaja W. 2018. Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geographia Polonica* 91(2): 143-170.
- Starkel L., Micheczyńska D.J., Krąpiec M., Margielewski W., Nalepka D., Pazdur A. 2013. Progress in the Holocene chrono-climatostratigraphy of Polish territory. *Geochronometria* 40(1): 1-21.
- Szeroczyńska K. 1985. Cladocera jako wskaźnik ekologiczny w późnoczwartorzędowych osadach jeziornych Polski północnej. *Acta Paleontologica Polonica* 30: 3-69.
- Szeroczyńska K., Sarmaja-Korjonen K. 2007. Atlas of Subfossil Cladocera from Central and Northern Europe. Friends of the Lower Vistula Society.
- Ślęzak E., Poluszyńska J., Wieczorek P.P., Sławińska I. 2016. Mineralizacja mikrofałowa jako efektywna metoda roztwarzania stałych próbek środowiskowych. *Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych* 26: 151-159.
- Turkowska K., Petera J., Forysiak J., Miotk-Szpi-ganowicz G. 2000. Morfogenez powierchni Kotliny Kolskiej w okolicach Koźmina. *Acta Geographica Lodzienia* 78: 98-134.

- Turkowska K., Forysiak J., Petera J., Miotk-Szpi-ganowicz G. 2004. A Warta River system during the Younger Dryas in the Koło Basin (Middle Poland). *Quaestiones Geographicae* 23: 83-107.
- Turski R., Domżał H., Borowiec J., Flis-Bujak M., Misztal M. 1986. Gleboznawstwo. Ćwiczenia dla studentów wydziałów rolniczych. PWN, Warszawa.
- Twardy J. 2014. Litologiczna charakterystyka osadów w stanowisku Koźmin Las i ich interpretacja paleogeograficzna. *Acta Geographica Lodziensia* 102: 23-38.
- Widera M. 1998. Ewolucja paleomorfologiczna i paleotektoniczna elewacji konińskiej. *Geologos* 3: 55-103.
- Wicik B., Więckowski K.. 1991. Osady jezior „Na Jazach” w Kotlinie Płockiej – warunki ich akumulacji oraz rola w rekonstruowaniu i prognozowaniu przekształceń środowiska naturalnego. *Przegląd Geograficzny* 43(1): 57-76.
- Zawiska, I. 2021. Wioślarki. W: A. Kurzawska, I. Sobkowiak-Tabaka (red.) *Mikroprzeszłość. Badania Specjalistyczne w Archeologii*, Wydział Archeologii Uniwersytetu Adama Mickiewicza, Poznań: 115-128.
- Zgłobicki W., Koziel M., Lata L., Plak A., Reszka M. 2008. Próba wykorzystania wskaźników geochemicznych do oceny natężenia współczesnej sedymentacji deluwialnej i aluwialnej. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Secio B* 43(4): 87-103.
- Zieliński T. 2014. Sedymentologia. Osady rzek i jezior. Wyd. Naukowe Uniwersytetu Adama Mickiewicza, Poznań.

## Summary

Interdisciplinary research was carried out at the Koźmin-KN site, located in the Warta River valley in the Koło Basin. The filling of a small palaeochannel (one of numerous branches of the multi-channel system of the Warta River (Fig. 1), a Late Vistulian anabranching river type II in the classification of Nanson and Knighton [1996]) was examined. The channel was cut into a Younger Dryas low terrace stretching several kilometres and was filled with lacustrine sediments and alluvium of the channel facies with a total thickness of almost 3 m. At the bottom of the fill, at depths ranging from 2.69 to 1.93 m, there was gyttja (coarse detritus, then clay and organic-mineral gyttja), which covered a thin layer of erosional pavement, several centimetres thick occurring on the fossil bottom of the channel (Fig. 3; Photos 1, 2). Gyttja was examined using various methods: sedimentological, geochemical (Figs 2, 5), palynological (Fig. 6), fossil plant macroremains (Fig. 7), fossil cladocerans (Fig. 8); additionally, selected physicochemical parameters of the sediments were determined, such as concentration of organic matter, pH and conductivity (Fig. 5); the age of four samples was determined using the  $^{14}\text{C}$  method (Fig. 2). The alluvia lying above the gyttja were subjected to grain-size analysis using the sieve and areometric methods (Fig. 4), and the bedding and sedimentary structures were characterised.

Two main stages were distinguished in the evolution of the studied palaeochannel: the older lacustrine (basin) stage and the subsequent stage of the active channel functioning as a component of the multi-channel system of the Warta River. The lacustrine stage was most likely preceded by a short-term episode of active

fluvial processes operating synchronously with the channel cutting and immediately after. Then, a natural obstacle in the channel above the Koźmin-KN site resulted in avulsion and the flow stopped. The lacustrine stage lasted about a thousand years; it began around 10.5 cal ka BP and ended around 9.3 cal ka BP, and thus in the younger part of the Preboreal period and the older Boreal period. The resulting water basin, with a shallow depth of 1–2 m, was gradually filled with gyttja with admixture of allochthonous mineral material. The supply of fine-grained fractions came from different sources, e.g. floods entering the low terrace, low but quite steep banks of the channel and the fall of aeolian dust. Initially, the basin functioned in a rather open area; in its vicinity there was a riverside riparian forest with a large share of willow, poplar, elderberry and hazel, as well as areas dominated by grass. At some distance there was pine with elm and oak. Over time, the shore zone was colonised by reed vegetation. The depth of the small lake changed many times, with a tendency towards gradual shallowing, which could be a consequence of the lowering water level in the Warta valley. However, the basin environment was never completely changed into terrestrial.

The active channel stage began with the deposition of a series of sand with admixtures of organic material, most likely forming a point bar. At this stage, fluvial accumulation and erosion alternated several times. The water level in the reactivated channel was subject to strong fluctuations until the surface of the entire point bar was exposed and dried up. As shown in previous studies of the Warta valley, the elimination of most of the channels of the multi-channel river system and its transformation into a single-channel river should be associated with intensive regulatory works in the 18th and 19th centuries.