

# PRADOLINA WARSZAWSKO-BERLIŃSKA W REJONIE ŁĘCZYCY: BUDOWA GEOLOGICZNA, RZEŻBA TERENU I EWOLUCJA

## The Warsaw-Berlin ice-marginal spillway near Łęczycza; geology, landforms and their evolution

JACEK FORYSIAK<sup>1</sup> , ALEKSANDRA MAJECKA<sup>2</sup> , LESZEK MARKS<sup>2</sup> , ŁUKASZ BUJAK<sup>2</sup> 

**Zarys treści.** Prezentowany w artykule problem funkcjonowania pradoliny warszawsko-berlińskiej wynika z cech morfologicznych obszaru i jego położenia w strefie wododziałowej. Wykonanie analizy budowy geologicznej i rozpoznanie litologii osadów wypełniających rozcięcie w strefie dna pradoliny w okolicach Łęczyczy miały na celu wykazanie ich depozycji w czasie zlodowacenia wisły i związków z aktywnością wód proglaacialnych oraz warunkami panującymi na przedpolu lądolodu. Wypełnienie tej kopalnej formy składa się z vistuliańskich serii piaszczystych i mułkowych, przykrytych przez osady organiczno-mineralne późnego vistulianu i holocenu.

**Słowa kluczowe:** dolina marginalna, osady piaszczyste i mułkowe, środkowa Polska

**Abstract.** The problem of the functioning of the Warsaw-Berlin ice-marginal spillway presented in the article results from the morphological features of the area and its watershed position. The analysis of the geological structure and identification of the lithology of the sediments filling the buried valley of the bottom of the ice-marginal spillway near Łęczycza were aimed at demonstrating their deposition during the Vistula Glaciation and connections with the activity of proglacial waters and the conditions prevailing in the foreland of the ice sheet. The filling of this fossil form consists of the Vistulian mineral series, which is sandy-muddy, and covered by organic-mineral deposits of the Late Vistulian and Holocene.

**Key words:** ice-marginal spillway, sandy and muddy deposits, Central Poland

## Wprowadzenie

Formowanie odpływu wód proglaacialnych i ekstraglaacialnych w pasie Nizin Środkowopolskich podczas zlodowaceń plejstoceniowych jest problemem dyskutowanym od wielu dziesięcioleci. Ukształtowanie podłoża czwartorzędowego w środkowej Polsce nawiązuje do położenia serii neogennych i ich akumulacji w niecce mazowieckiej i zbiorniku poznańskim (Mojski 2005), przedzie-

lonych antyklinorium środkowopolskim. Pomimo dużej erozji i zdeformowania utworów neogenu podczas zlodowaceń plejstoceniowych, generalny układ obniżania się powierzchni terenu od północnego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich ku północy był zachowany. Recesja lądolodu z obszaru południowej i środkowej Polski spowodowała odsłonięcie powierzchni terenu, umożliwiając organizowanie się odpływu wód roztopowych i rzecznych. Jednak wobec blokowania przez czoła lądolodów odpływu ku północy oraz ograniczonych

<sup>1</sup> Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Katedra Geologii i Geomorfologii, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź; e-mail: jacek.forysiak@geo.uni.lodz.pl, ORCID: 0000-0002-0084-4436; e-mail: dorota.brzozowicz@geo.uni.lodz.pl, ORCID: 0000-0002-8553-5121; e-mail: marcin.krystek@geo.uni.lodz.pl, ORCID: 0000-0003-1150-0062

<sup>2</sup> Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Katedra Geologii Klimatycznej, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e-mail: a.majecka@uw.edu.pl, ORCID: 0000-0002-3911-3155; e-mail: leszek.marks@uw.edu.pl, ORCID: 0000-0002-4507-1828; e-mail: l.bujak3@uw.edu.pl, ORCID: 0000-0002-4001-0524

możliwości odpływu przez doliny Niziny Podlaskiej i Polesia (Mojski 2005), wody proglacjalne i ekstraglacjalne kierowały się dolinami walnymi (pradolina) ku zachodowi, do rejonu Berlina w Niemczech, a następnie doliną dolnej Łaby do Morza Północnego. Pradolina warszawsko-berlińska, która w środkowej Polsce przebiega od Kotliny Warszawskiej ku zachodowi do Kotliny Kolskiej, a dalej Kotliny Pyzdrowskiej, jest ograniczona od południa stokami wysoczyzn o wyraźnym spadku ku północy, ukształtowanych po stadiu warty. Funkcjonowanie pradoliny warszawsko-berlińskiej już w trakcie recesji lądolodu przedostatniego zlodowacenia jest zgodnie przyjmowane w piśmiennictwie (Jewtuchowicz 1967, 1970; Mojski 2005; Turkowska 2006). Ze stadiem warty zlodowacenia odry wiąże się powstanie rozległych powierzchni o charakterze erozyjno-akumulacyjnym, traktowanych jako terasy pradolinne (Krajewski 1977; Borówka 1991). Taka sytuacja zachodzi w analizowanym odcinku pradoliny warszawsko-berlińskiej. Dalej ku zachodowi układ ten komplikuje obecność utworów glaciegenicznych zlodowacenia wisły, ponieważ dno pradoliny warszawsko-berlińskiej zostało tam przekroczone przez lądolód w fazie leszczyńskiej (Rotnicki 1987; Rotnicki, Borówka 1990). Terasy pradolinne prezentowane były przez Krajewskiego (1977), a także Borówkę (1991), a dokładniejszy opis ich rozmieszczenia i cech morfologicznych w rejonie Łęczycy zostały zebrane przez Forsyś (2014). Jewtuchowicz (1967, 1970) analizując ukształtowanie pradoliny i jej utwory w rejonie Łęczycy, wyrażał przekonanie o funkcjonowaniu tej formy jako drogi odpływu wód zarówno podczas stadia warty, jak i zlodowacenia wisły. Opinie kwestionujące ciągłość formy pradolinnej między Kotlinami Warszawską i Kolską opierały się przede wszystkim na fakcie występowania działu wodnego między Łęczycą i Topolą Królewską oraz spadku współczesnego dna pradoliny, zarówno na wschód, jak i na zachód od Łęczycy (Wiśniewski 2003; Turkowska 2006) oraz morfologii i budowie geologicznej dolnych odcinków dolin rzek Słudwi i Przysowy (Wiśniewski, Andrzejewski 1994). Funkcjonowanie pradoliny w odcinku łeczyckim wiąże się w istotny sposób z zastoiskiem warszawskim i możliwością spływu jego wód ku zachodowi do Kotliny Kolskiej i dalej do Kotliny Pyzdrowskiej. Mimo podkreślanych kontrowersji, co do wykorzystywania takiej drogi odwodnienia przedpola lądolodu wisły, Molewski (2014) wykonanymi estymacjami czasu wypełnienia zastoiska wskazuje, że krótki czas wypełnienia

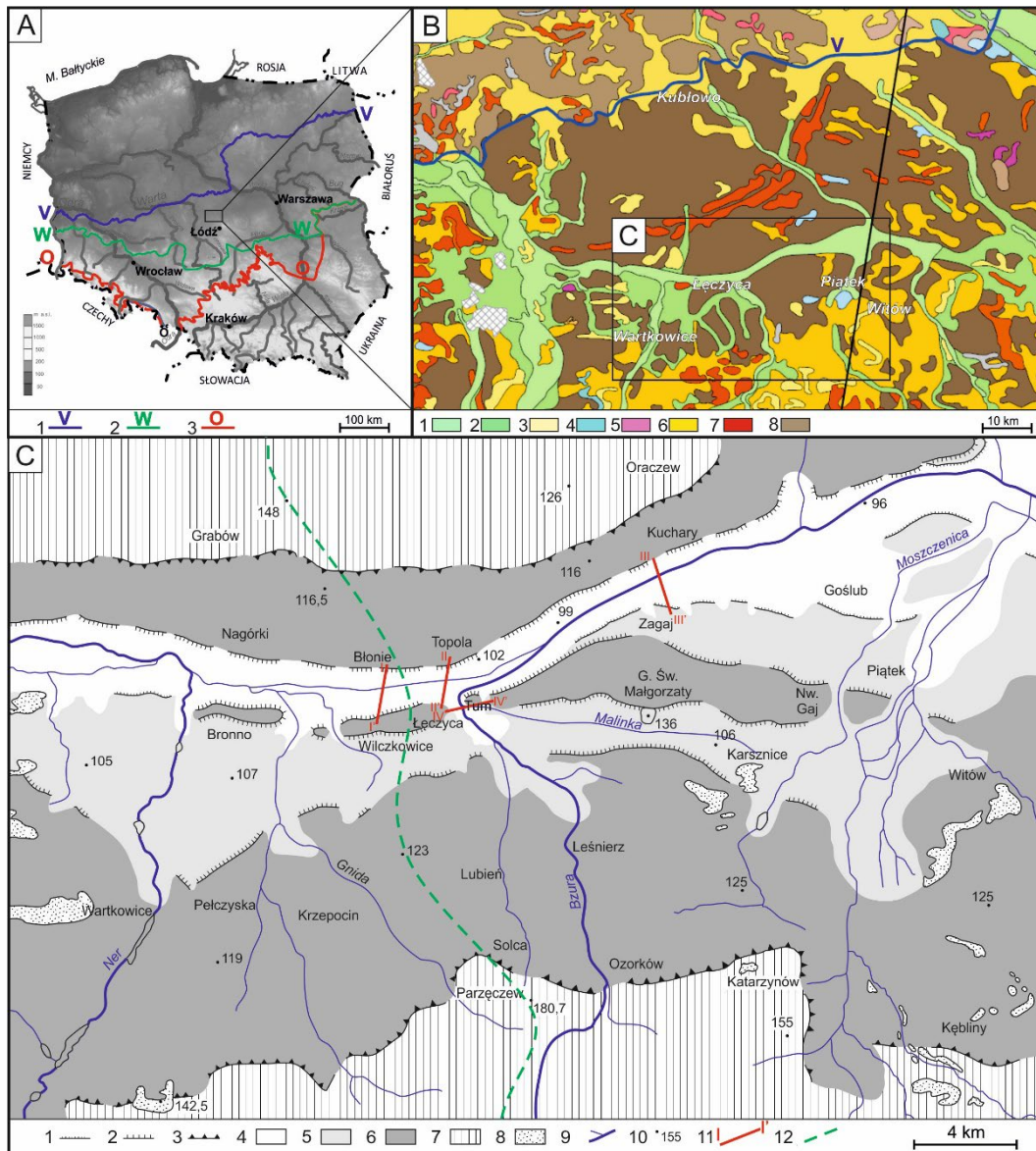
się zastoiska warszawskiego wymusza istnienie skutecznej drogi odprowadzania wód na zachód.

Brak pokładów glin lodowcowych w osiowej strefie pradoliny (Jewtuchowicz 1967, 1970) może wskazywać na usuwanie osadów bezpośredniej akumulacji lodowcowej przez wody proglacjalne w trakcie kolejnych faz recesyjnych podczas stadia warty lub w wyniku usytuowania czoła lądolodu na północ od pradoliny podczas zlodowacenia wisły. Skały stropu mezozoiku w osi pradoliny (w Łęczycy) znajdują się na rzędnej 70–75 m n.p.m. (Jewtuchowicz 1967; Jeziorski 2014; Kucharska, Krawczyk 2022). Ograniczało to głębokość wcinania koryt rzek i mogło wpływać na odtwarzanie się działu wodnego w tym rejonie. Innym problemem podnoszonym w dyskusji o ciągłości form pradolinnych jest możliwość halotektonicznej aktywności struktur solnych okolic Łęczycy i południowych Kujaw (Poborski 1957; Tarka 1992; Molewski 2014). Podczas stadia warty lądolód oddziaływał bezpośrednio na podłoże z aktywnymi strukturami solnymi, między innymi antykliną Ozorków–Kłodawa–Izbica Kujawska, która znajduje się pod dnem pradoliny między Łęczycą a Błoniem i reakcja ciała solnego na zmienne obciążenie jest prawdopodobna. Ten wpływ mógł być spowodowany przez ruchy glaciostatyczne i powstanie nabrzmienia na przedpolu lądolodu.

Celem artykułu jest analiza budowy geologicznej i charakterystyka osadów wypełniających kopalne obniżenie w obrębie dna pradoliny w jej odcinku wododziałowym, w rejonie Łęczycy oraz rekonstrukcja odpływu wód zastoiska warszawskiego pradoliną warszawsko-berlińską.

## Obszar badań

Analizom geomorfologicznym i geologicznym poddany został odcinek pradoliny warszawsko-berlińskiej między dolinami Moszczenicy i Neru, których holocenyckie dna łączą się z dnem pradoliny. W tym obszarze wyróżnia się najczęściej trzy terasy pradolinne (Krajewski 1977; Borówka 1991), położone w przedziale wysokości od 100 m n.p.m. do 120 m n.p.m. (rys. 1). Poziom najniższy stanowi dno pradoliny, które we wskazanym odcinku leży na wysokości od 94 m n.p.m. do niemal 102 m n.p.m., a w strefie wododziału zlewni Wisły i Odry między Łęczycą i Topolą 101,5–102 m n.p.m. Szerokość dna pradoliny sięga 2,5 km, lecz pod Łęczycą zwęża się do 1,5 km i tam zaznacza się wspomniany dział wodny I rzędu. Od tego miejsca dno pradoliny



Rys. 1 Położenie badanego odcinka pradoliny warszawsko-berlińskiej

A – położenie na tle zasięgów zlodowaceń plejstocenijskich (wg Marksa i in. 2022)

1 – zlodowacenie wisty, 2 – zlodowacenie odry, stadiał warty, 3 – zlodowacenie odry, stadiał maksymalny

B – położenie na tle Mapy geologicznej Polski 1:500 000 (Marks i in. 2022)

Holocen: 1 – piaski, mułki rzeczne (młodsze) i torfy, 2 – piaski, mułki i żwiry rzeczne; vistulian: 3 – piaski eoliczne, 4 – piaski, mułki i ropy jeziorne; zlodowacenie wisty/zlodowacenie odry: 5 – piaski i mułki kemów, 6 – piaski i żwiry rzeczno-lodowcowe, 7 – piaski i żwiry moren czołowych, 8 – gliny lodowcowe

C – Poziomy morfologiczne w pradolinie warszawsko-berlińskiej (Krajewski 1977, Forsyjak 2014) i lokalizacja przekrojów geologicznych (rys. 2, 3)

1 – krawędź poziomu średniego pradoliny, 2 – krawędź poziomu wysokiego pradoliny, 3 – krawędź wysoczyzny, 4 – dno pradoliny, 5 – poziom średni pradoliny, 6 – poziom wysoki pradoliny, 7 – wysoczyzny morenowe, 8 – wydmy, pola piasków eolicznych, 9 – rzeki, 10 – rzędne wysokościowe, 11 – linie przekrojów geologicznych, 12 – dział wodny I rzędu

Location of the studied section of the Warsaw-Berlin ice-marginal spillway

A – location against the background of the extent of Pleistocene glaciations (according to Marks *et al.* 2022)

1 – Vistula Glaciation, 2 – Odra Glaciation, Warta Stage, 3 – Odra Glaciation, maximum stage

B – location against the background of the Geological Map of Poland 1:500,000 (Marks *et al.* 2022)

Holocene: 1 – fluvial sands and silts, peats, 2 – sands, silts and river gravels; Vistulian: 3 – aeolian sands, 4 – sands, silts and lacustrine clays; Vistula/Odra Glaciations: 5 – sands and silts of kames, 6 – glacial sands and gravels, 7 – sands and gravels of terminal moraines, 8 – glacial till

C – Morphological levels in the Warsaw-Berlin ice-marginal spillway (Krajewski 1977; Forsyjak 2014) and location of geological sections (Fig. 2, 3)

1 – edge of the middle level of the ice-marginal spillway, 2 – edge of the high level of the ice-marginal spillway, 3 – edge of the morainic plateau, 4 – bottom ice-marginal spillway, 5 – medium level of the ice-marginal spillway, 6 – high level of the ice-marginal spillway, 7 – moraine plateaus, 8 – dunes, aeolian sand fields, 9 – rivers, 10 – altitude elevations, 11 – geological cross-sections, 12 – watershed

opada nieznacznie na zachód i wschód. Bzura wpływając w Łęczycy w obręb dna pradoliny, zmienia kierunek biegu i wykorzystując szerokie dno pradolinne odprowadza wody ku Wiśle. Do poziomu dna pradoliny zalicza się także płaskie rozszerzenia den dolin rzek dochodzących do pradoliny z kierunku południowego – oprócz Bzury, są to Moszczenica, Gnida i Ner (rys. 1). Poziom ten jest pokryty utworami organiczno-mineralnymi holocenu.

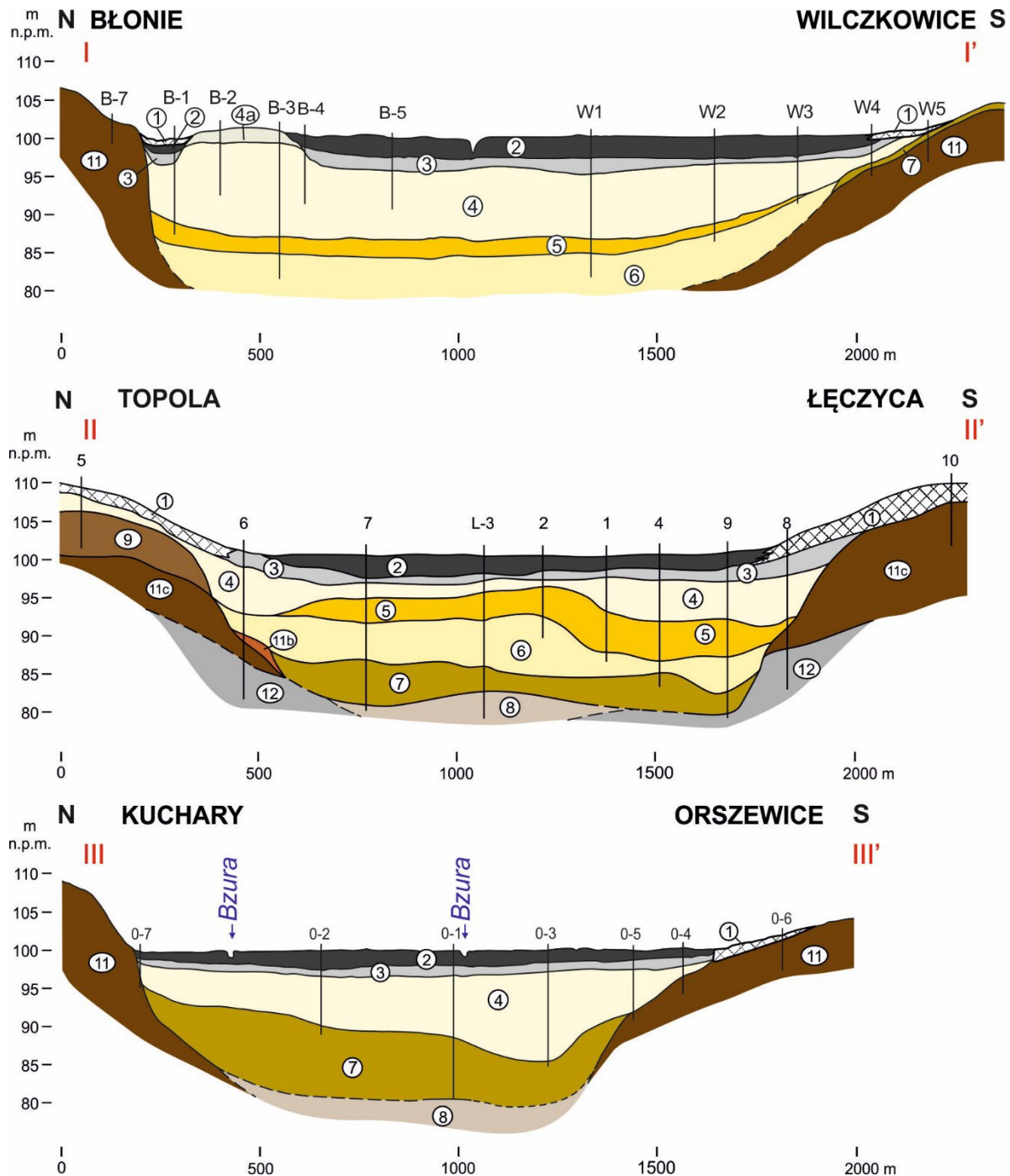
Ważnym elementem geomorfologii tego terenu jest obszar leżący w przedziale rzędnych od 102 m n.p.m. do 107 m n.p.m., określane jako terasa średnia, albo średni poziom pradoliny (Krajewski 1977; Forsyś 2014; Forsyś i in. 2015). Jest on widoczny w terenie tylko na południe od dna pradoliny, ale jest rozczłonkowany przez wyżej położone fragmenty terasy wysokiej, jak i południkowo ułożone doliny. Wyraźniej zaznaczają się strefy dróg odpływu równoległe do dna pradoliny (na przykład od Gieczna przez Karsznice, Tum i Wilczkowice do Bronna). Terasa ta ma charakter erozyjno-akumulacyjny.

W obrazie geomorfologicznym rejonu Łęczycy wyraźnie uwidacznia się spłaszczony teren erozyjnej (wysokiej) terasy pradoliny warszawsko-berlińskiej (Krajewski 1977; Forsyś 2014). Rzędne jej powierzchni są bardziej zróżnicowane i sięgają od około 108 m n.p.m. do około 120 m n.p.m., zaznacza się jej obniżanie ku osi pradoliny, jak też w kierunku doliny Bzury. Terasa ta jest rozległa, po południowej stronie sięga stoków wysoczyzn morenowych, ale zaznacza się także ciągłym pasem po północnej stronie pradoliny warszawsko-berlińskiej, kontaktując się ze stokami wzniesień moreny kutnowskiej. Układ tak zarysowanych teras pradolinnych przecinają doliny już wspomnianych wcześniej rzek, ale urozmaicają go także nieliczne formy eoliczne i ostańcowe. Wśród form związanych z akumulacją eoliczną najbardziej wyraźny jest zespół wydmy zlokalizowany na powierzchni wyższej i średniej terasy pradolinnej w Karsznicach, istotne są też pojedyncze wydmy w Sierpowie oraz w Błoniu, w obrębie dna pradoliny. Na uwagę zasługują wyniesienia o charakterze ostańców, które mogą być pozostałością procesów erozyjnych i denudacyjnych, między innymi w podłożu grodziska w Tumie (Marosik, Forsyś 2014; Forsyś i in. 2015) czy przekształcony przez procesy denudacyjne pagórek szczylinowy w Górze Świętej Małgorzaty (Dylik 1967; Jeziorski 2014).

## Material i metody badawcze

Budowa geologiczna pradoliny warszawsko-berlińskiej w rejonie Łęczycy była prezentowana dotychczas głównie na bazie wierceń złożowych, wykorzystanych w opracowaniach Domosławskiej-Baranieckiej (1960, 1968) i Jewtuchowicza (1967, 1970). Dane te uzupełniono nowymi informacjami (Kucharska, Krawczyk 2022), ale uzyskanie danych geologicznych z serii wypełniających dno pradoliny i materiału do analiz litologicznych wymagało wykonania kolejnych wierceń. Ponieważ niemal całą powierzchnię dna pradoliny zajmują mokradła, wykonanie wierceń mechanicznych jest możliwe jedynie przy wykorzystaniu grobli drogowych lub dróg prowadzących do użytkowanych rolniczo fragmentów tego obszaru. Prace wiertnicze ułatwił też bardzo niski w ostatnich latach poziom wody na tym zatorfionym obszarze. Wykonane zostały 23 wiercenia (do głębokości 21 m), które dały możliwość opracowania trzech przekrojów geologicznych (rys. 1, 2) oraz poboru kilkuset próbek do analizy litologicznej. Wiercenia przekroju geologicznego III-III' wykonano wzdłuż grobli drogowej między Orszewicami i Kucharami (około 8 km na wschód od Łęczycy), przekrój II-II' opiera się na wierceniach wzdłuż grobli drogi krajowej DK 91 między Łęczycą i Topolą, zaś przekrój geologiczny Błonie-Wilczkowice (około 3 km na zachód od Łęczycy) wzdłuż grobli oraz dróg przebiegających między wykopami po eksploatacji torfów (rys. 1, 2).

Materiał mineralny poddany został analizie uziarnienia metodami sitową i areometryczną, a wyniki pozwoliły na obliczenie wskaźników uziarnienia według Folk'a i Ward'a (Mycielska-Dowgiałło 1995). Oznaczony został także udział węglanów metodą objętościową (Myślińska 2010). Ziarna piasku z frakcji 0,63–0,8 mm poddano analizie obróbki materiału kwarcowego metodą Cailleux'a w modyfikacji zaproponowanej przez Manikowską (1993), z wyróżnieniem pięciu typów ziaren: okrągłe, matowe (RM), pośrednie (M), błyszczące (EL), pęknięte (C) oraz nieobrobione (NU). Wykorzystano także dane pozyskane wcześniej podczas dokumentacji budowy geologicznej otoczenia grodziska w Tumie (Marosik, Forsyś 2014), gdzie zastosowano takie same metody prac terenowych i laboratoryjnych.



Rys. 2. Przekroje geologiczne przez dno pradoliny warszawsko-berlińskiej (przebieg na rys. 1)  
 1 – nasyp, 2 – osady biogeniczne: torf i gytja, 3 – piasek różnoziarnisty z rozproszoną materią organiczną lub z wkładkami torfów i gytji, 4 – piasek drobny, 4a – piasek drobny eoliczny, 5 – piasek średni i drobny, 6 – piasek drobny, 7 – mułek piaszczysty, 8 – mułek ilasty, 9 – glina piaszczysta, 10 – piasek z domieszką żwirów, 11 – osady akumulacji lodowcowej w tym: 11a – glina lodowcowa, 11b – piasek gliniasty, 11c – glina lodowcowa, piaszczysta, 12 – mułki mineralno-organiczne

Geological cross-section through the floor of Warsaw-Berlin ice-marginal spillway (location on Fig. 1)

- 1 – embankment, 2 – biogenic sediments: peat and gyttja, 3 – vari-grained sand with scattered organic matter or with peat and gyttja inserts, 4 – fine sand, 4a – fine aeolian sand, 5 – medium and fine sand, 6 – fine sand, 7 – sandy mud, 8 – clayey mud, 9 – sandy till, 10 – sand with an admixture of gravel, 11 – till, in general, including: 11a – till, 11b – clay sand, 11c – older till, 12 – mineral-organic silts

## Budowa geologiczna pradoliny warszawsko-berlińskiej

### Podłoże czwartorzędu

W podłożu podkenozoicznym łączycyckiego odcinka pradoliny warszawsko-berlińskiej sytuacja jest dość złożona, ponieważ przebiega on niemal prostopadle do głównej struktury podłoża, czyli antyklinorium środkowopolskiego (Znosko 1998), którego oś przebiega przez Łęczycę. Strop mezozoiku tworzą margle i wapienie jury górnej (Kucharska, Krawczyk 2022), ale na głębokości zaledwie kilkuset metrów nawiercono permskie formacje solne. Na zachód od Łęczycy na powierzchni podkenozoicznej ukazuje się kreda dolna, a w rejonie Bronna – kreda górna (Kucharska, Krawczyk 2022). Utwory neogenu stwierdzano w licznych otworach wiertniczych, nawet w osiowej części pradoliny. Już w latach pięćdziesiątych XX wieku, w ramach prac dokumentujących złoża węgla brunatnego w okolicach Łęczycy, wykonano analizy paleobotaniczne, które pozwoliły na przypisanie ich do miocenu (Domośławska-Baraniecka 1968; Kucharska, Krawczyk 2022). Nawiercono je również w obrębie kopalnego stoku w Łęczycy (rys. 2), gdzie w obrębie serii mułków udokumentowano utwory biogeniczne na głębokości 14,8–16,8 m. Ekspertyza palinologiczna potwierdziła wiek neogeński i wykazała obecność pyłku taksonów o wysokich wymaganiach termicznych i taksonów egzotycznych, takich jak ostrokrzew (*Ilex*), magnolia (*Magnolia*) i paproć z gatunku długosz królewski (*Osmunda regalis*).

### Terasy pradolinne

Wysoka terasa pradoliny warszawsko-berlińskiej ma w dużym stopniu charakter erozyjny, a jego powierzchnia jest zbudowana przede wszystkim z glin lodowcowych i z zalegających na nich piasków i żwirów lodowcowych oraz rzecznotodowcowych stadiału warty (Jeziorski 2014; Kucharska, Krawczyk 2022). W dolinach rozcinających jej powierzchnię występują również utwory rzecznotodowcowe tego wieku, przykryte na ogół młodszymi utworami rzecznyymi, eolicznymi lub stokowymi. Wspomniany pagórek w miejscowości Góra Świętej Małgorzaty stanowi charakterystyczny element rzeźby w tym obszarze i jest zbudowany z piasków i żwirów rzecznotodowcowych (Kucharska, Krawczyk 2022). Dylik (1967), opierając się na badaniach osadów piaszczystych i mułkowych w odkrywkach położonych na sto-

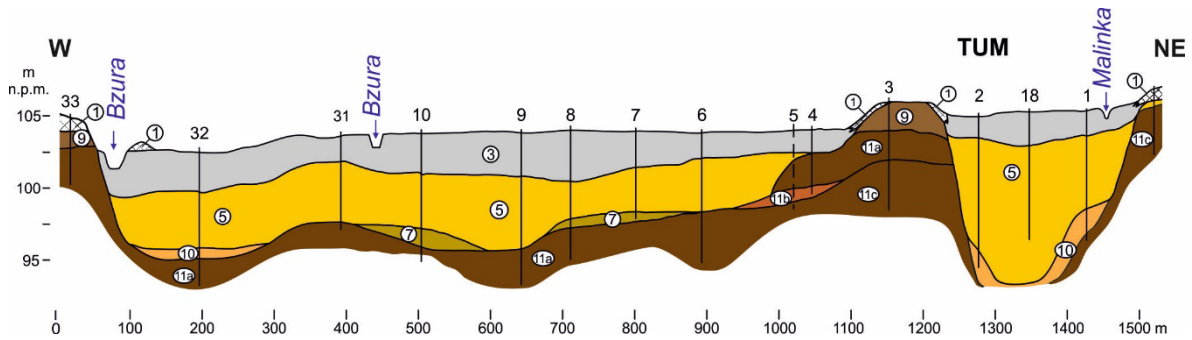
kach pagórka, przedstawił model przekształceń peryglacialnych tych powierzchni stokowych.

Zróznicowana jest również budowa geologiczna terasy średniej. W jej obrębie występują fragmenty erozyjne, tworzone głównie przez utwory glacialne. W rozcięciach erozyjnych włożone są piaski i żwiry rzecznotodowcowe stadiału warty, najczęściej przykryte młodszymi utworami zlodowacenia wisły. Jednak w części tego rodzaju rozcięć, na przykład w rejonie Wilczkowiec, piaski gruboziarniste ze żwirami i otoczkami, uznane za rzecznotodowcowe, stanowią serie powierzchniowe (Kucharska, Krawczyk 2022). W dolinie wykorzystywanej współcześnie przez ciek Malina (Malinka), na osadach stadiału warty zalega seria ponad 10-metrowej miąższości piasków zlodowacenia wisły (Marosik, Forsyś 2014; Forsyś i in. 2015; rys. 3). W obrębie pradolinnej terasy średniej znajdują się również inne fragmenty terenu kształtowane przez vistuliańskie procesy fluwialne, jak w dolnym odcinku doliny Moszczenicy oraz doliny Gnidy i Neru.

Powierzchnia dna pradoliny zbudowana jest na całym analizowanym odcinku z utworów holocenu, głównie torfów, sporadycznie gytii i piasków z materiałem organicznym, pod którymi zalegają osady vistulianu (Domośławska-Baraniecka 1968; Kucharska, Krawczyk 2022). Budowa geologiczna głębiej zalegających utworów, zwłaszcza podłoża serii vistuliańskich, rozpoznana jest głównie na podstawie wierceń. Są to utwory glacialne czwartorzędu, albo osady neogeńskie (Jewtuchowicz (1967, 1970; Kucharska, Krawczyk 2022).

### Charakterystyka osadów dna pradoliny

Wiercenia wykonane wzdłuż grobli drogowej między Orszewicami a Kucharami (rys. 2) pozwoliły na rozpoznanie wypełnienia osiowej części pradoliny na wschód od Łęczycy (rys. 1). Pod przypowierzchniową warstwą torfów występują piaski o miąższości dochodzącej do 13 m, zawierające w stropie domieszkę materiału biogenicznego. Głębiej zalega seria mułków, o stropie na głębokości poniżej 10 m, w osi rozcięcia około 85,4 m n.p.m. Serię piaszczystą tworzą piaski drobnoziarniste, umiarkowanie i dobrze wysortowane, a analiza obróbki ziaren kwarcu wykazała znaczne zróżnicowanie. Zawartość ziaren typu RM wynosi od 39,8% do 53,3%, generalnie nieco więcej w górnej części (rys. 4). Pomimo zmniejszenia udziału ziaren RM, wysoki jest udział EL (powyżej 13,8%) oraz C (do 14,2%). Seria piaszczysta zawiera niewielką zawartość węglanu wap-



Rys. 3. Przekrój geologiczny przez dolinę Bzury (przebieg na rys. 1)

- 1 – nasyp, 2 – osady biogeniczne: torf i gytia, 3 – piasek różnoziarnisty z rozproszoną materią organiczną lub z wkładkami torfów i gytii, 4 – piasek drobny, 4a – piasek drobny eoliczny, 5 – piasek średni i drobny, 6 – piasek drobny, 7 – mułek piaszczysty, 8 – mułek ilasty, 9 – glina piaszczysta, 10 – piasek z domieszką żwirów, 11 – ogólnie glina lodowcowa w tym: 11a – glina zwałowa, 11b – piasek gliniasty, 11c – glina lodowcowa, 12 – mułki mineralno-organiczne

## Geological cross-section through the Bzura valley (location on Fig. 1)

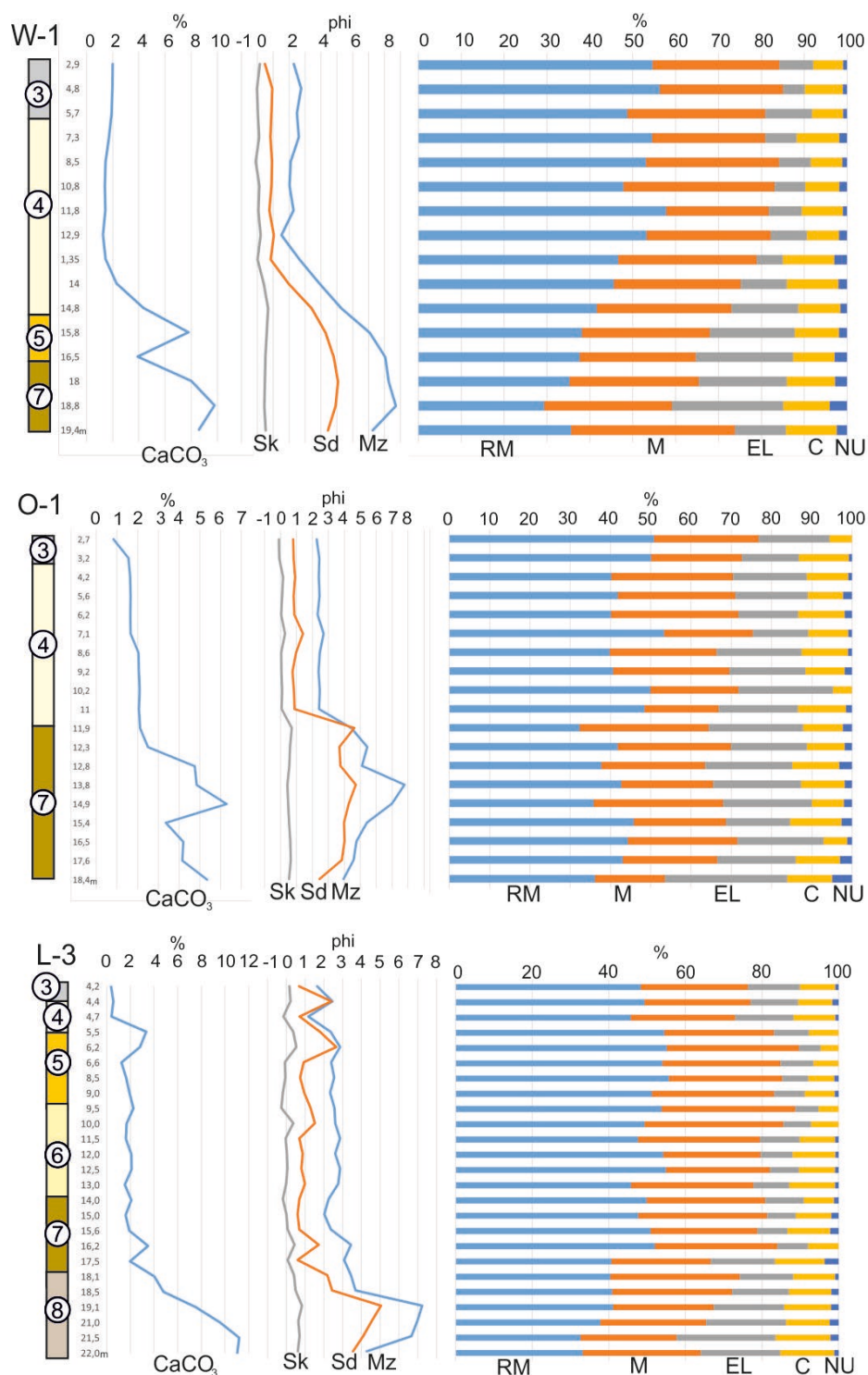
- 1 – embankment, 2 – biogenic sediments: peat and gyttja, 3 – vari-grained sand with scattered organic matter or with peat and gyttja inserts, 4 – fine sand, 4a – fine aeolian sand, 5 – medium and fine sand, 6 – fine sand, 7 – sandy mud, 8 – clayey mud, 9 – sandy till, 10 – sand with an admixture of gravel, 11 – till, in general, including: 11a – till, 11b – clay sand, 11c – older till, 12 – mineral-organic silts

nia (0,8–2,1%), i jest ona stabilna w tej części profilu osadów. Zalegająca poniżej seria mułkowa wykazuje dominację frakcji pylastej i znaczny, wzrastający ku spągowi udział frakcji ilastych. W obróbce ziaren kwarcu przeważają ziarna typu RM, ale udział ziaren EL jest wyraźnie większy niż w serii piaszczystej i dochodzi do 30,4% w próbce spągowej. Również udział węgla wapnia jest w serii mułkowej stosunkowo wysoki, sięga 6,2%, ale jest dość zmienny, a w niektórych próbkach mniejsza zawartość węglanów łączy się większym udziałem ziaren typu RM.

W przekroju geologicznym pomiędzy Łęczycą a Topolą (rys. 2), pod materiałem nasypu drogowego występują torfy o miąższości 1,0 – 2,1 m, a poniżej – piaski z materiałem organicznym. Strop torfów datowany w dwóch profilach położonych w sąsiedztwie grobli wykazał wiek młodszego dryasu (Forysiak i in. 2024). Można więc warstwę piasków z materiałem organicznym wiązać z późnym vistulianem, na co może też wskazywać znaczny udział w materiale kwarcowym ziaren typu RM (rys. 4). Spąg tej serii w przekroju Łęczycy–Topola występuje na rzędnej około 96 m n.p.m. (rys. 4). Poniżej znajdują się utwory piaszczyste zalegające do głębokości niemal 20 m, zróżnicowane litologicznie, co pozwoliło na wydzielenie trzech serii. Najwyżej są piaski drobno- i średnioziarniste, słabo wysortowane, wykazują się jednak najwyższym w całym profilu udziałem ziaren kwarcu typu RM (54,0–55,7%), przy minimalnym udziale ziaren EL. Położona poniżej seria piasków średnioziarnistych jest znacz-

nie lepiej wysortowana i zawiera więcej żwirów drobnych, a wśród analizowanych ziaren kwarcu typ RM stanowi ponad 50% (rys. 4). W dolnej części serii piaszczystej wskaźniki uziarnienia wykazują większe zróżnicowanie, także udział dominującego typu ziaren RM jest bardziej zmienny niż powyżej (od 45,8% do 54,2%), a ziaren EL sięga 12,0%. W całej serii piaszczystej zawartość węgla wapnia wynosi około 2%, choć w pojedynczych próbkach dochodzi do 3,5%. Podłożem dla serii piaszczystej są mułki o zmiennej domieszce piasków, co wpływa na zróżnicowanie wskaźników uziarnienia, także w wynikach obróbki ziaren kwarcu widać znaczne różnice (udział RM – od 40,4 do 52,0%; EL – od 8,0 do 16,8%; rys. 4). Udział węgla wapnia w spągu wynosi 4,2%. Poniżej zalega seria mułków ilastych, o najwyższym w profilu udziale węgla wapnia (7,5–11,2%), w spektrum materiału kwarcowego udział ziaren RM jest najniższy, mieści się w przedziale 30–40%, przy wysokim, ponad 20% udziale ziaren EL.

Przekrój geologiczny Błonie–Wilczkowie przebiega na zachód od Łęczycy (rys. 1, 2). W wypełnieniu rozcięcia pradoliny zaznaczają się cztery serie. Powierzchniowa warstwa osadów biogenicznych jest złożona z torfów oraz zalegającej miejscami pod nimi gytii detrytusowej, których łączna miąższość sięga 3,4 m, a datowania jej spągowej próbek wskazują na późny vistulian (Forysiak i in. 2024). Podłożem dla tej warstwy stanowią piaski z udziałem materiału organicznego, zalegające do rzędnej około 96 m n.p.m. (rys. 2).



Rys. 4. Zestawienie wyników oznaczeń cech litologicznych osadów wybranych otworów wiertniczych W-1 (Wilczkowice), O-1 (Orszewice), L-3 (Łęczycza)

Lokalizacja profili jest zaznaczona na przekrojach geologicznych (rys. 2, 3); opis litologiczny jak na rys. 3  
 CaCO<sub>3</sub> – zawartość węglańca wapnia [%], wskaźniki uziarnienia wg Folk'a i Ward'a: Sk – skośność, Sd – wysortowanie, Mz – średnia średnica ziaren [w skali phi]; obróbka ziaren kwarcu: RM – okrągłe, matowe, M – pośrednie, EL – błyszczące, C – pęknięte, NU – nieobrobione

Summary of the lithological features of sediments from selected boreholes W-1 (Wilczkowice), O-1 (Orszewice), L-3 (Łęczycza)

Location of the profiles is marked on the geological cross-sections (Fig. 2, 3); lithology as in Fig. 3  
 CaCO<sub>3</sub> – calcium carbonate content [%]; grain size coefficients according to Folk and Ward: Sk – skewness, Sd – sorting, Mz – average grain diameter [in the phi scale]; processing of quartz grains: RM – round, mat, M – intermediate, EL – shiny, C – cracked, NU – unprocessed (not abraded)



Poniżej są piaski drobno- i średnioziarniste, o umiarkowanie dobrym wysortowaniu i niewielkim (do 2%) udziale węglanu wapnia (rys. 4). Obróbka materiału kwarcowego wykazuje dominację ziaren typu RM (od 48,7% do 57,8%), przy zmiennym udziale ziaren typu EL (od 5,0% do 10,9%). Miąższość całej serii piaszczystej sięga 12 m, a jej spąg w osi rozcięcia znajduje się na rzędnej około 87 m n.p.m. Bezpośrednio pod piaskami znajdują się mułki piaszczyste, bardzo słabo wysortowane, o zawartości węglanu wapnia 2–4% i miąższości 1,5–2 m. Niżej występują mułki ilaste z domieszką piasków drobnych, skrajnie źle wysortowanych, a udział ilu sięga 34%. Osad ten wykazuje też większą zawartość węglanu wapnia – od 5% do 9,8%. Analiza obróbki ziaren kwarcu wykazała znacznie mniejszy niż w nadległych seriach udział ziaren typu RM (od 29% do 38%), ale przy większym udziale ziaren EL (do 26%) oraz C (rys. 4).

Istotną dla formowania osadów dna pradoliny jest także sytuacja w dolinach rzek dopływających do pradoliny. Jednym z takich przykładów jest obszar doliny Bzury, bezpośrednio przed jej połączeniem z dnem pradoliny. Budowę geologiczną dokumentuje przekrój pomiędzy Tumem a Łęczycą (rys. 1, 3). Powierzchniowa warstwa utworów mineralno-organicznych ma miąższość do 4 m i tworzą ją zarówno nieciągly powierzchniowy pokład torfów, jak i rzeczne utwory piaszczysto-mułkowe z wkładkami torfów i gytii z późnego vistulianu i holocenu (Marosik, Forsyia 2014). Spąg tej serii sięga do rzędnej około 99 m n.p.m. Poniżej zalega seria piaszczysta, zawierająca piaski o dominacji frakcji drobno- i średnioziarnistej, dość dobrze i umiarkowanie dobrze wysortowane, z przewagą ziaren typu RM (54–59%) wśród materiału kwarcowego (Marosik, Forsyia 2014). Spąg serii piaszczystej między ostańcem grodziska a Łęczycą znajduje się około 95 m n.p.m., ale między grodziskiem a miejscowością Tum obniża się do poniżej 93 m n.p.m. W podłożu tej serii jest zachowana fragmentarycznie seria mułkowa, zalegająca na glinach lodowcowych, zlodowacenia odry (Marosik, Forsyia 2014). Gлина lodowcowa udokumentowana w obrębie ostańca erozyjnego, tuż pod warstwami kulturowymi grodziska w Tumie, została uznana za starszą (Forsyia i in. 2015), ponieważ spektrum eratyków wskaźnikowych w niej zawartych nie odpowiada glinom kompleksu środkowopolskiego.

## **Kształtowanie pradoliny w odcinku łęczyckim**

Wskazanie początku kształtowania doliny marginalnej w odcinku łęczyckim współczesnej megafornij terenu, jaką jest pradolina warszawsko-berlińska stanowi trudny do rozstrzygnięcia problem. Jej funkcjonowanie w systemie odwodnienia zastoiska warszawskiego, ale tylko podczas zlodowacenia wisły zostało ostatnio przedyskutowane (Forsyia i in. w druku). Zarysowana we wprowadzeniu sugestia o wielokrotnym odtwarzaniu takiej drogi odpływu wód w czasie zlodowaceń plejstocennych, choć wydaje się logiczną, wymaga potwierdzenia w badaniach geologicznych. Krzemiński (1997) i Rdzany (2009) wskazują, że ugięcie pokładów glin lodowcowych kompleksu środkowopolskiego może sugerować, że łądolód dopasowywał się do obniżenia istniejącego już w strefie pradoliny. Wiązanie rozwoju pradoliny warszawsko-berlińskiej ze schyłkiem stadiału warty postulował Jewtuchowicz (1967, 1970), a także Mojski (2005), Turkowska (2006) i Rdzany (2014). Przedstawiony powyżej materiał badawczy pozwala na potwierdzenie istnienia układu pradolinowego do odwodnienia przedpola łądolodu stadiału warty, jednak odtworzenie przebiegu kształtowania terasy wysokiej i średniej, jak i rozcięć w ich obrębie wymaga dalszych prac badawczych. Niezbędne jest bowiem odniesienie do faz recesyjnych łądolodu (m.in. Baraniecka 1975; Krzemiński 1997; Turkowska 2006; Rdzany 2009), kiedy jego czoło znalazło się w strefie pradoliny i bezpośrednio na północ od niej. Z punktu widzenia funkcjonowania pradoliny na odcinku łęczyckim bardzo ważną jest faza, której pozostałością jest tak zwana morena kutnowska. Czoło łądolodu musiało wówczas znajdować się na obszarze dzisiejszej pradoliny w rejonie Dąbia i Dobrowa, gdzie wał moreny kutnowskiej znajduje swą kontynuację w postaci ostańca kolskiego, położonego na zachód od dzisiejszej doliny Warty, i wytworzenia zastoiska. Jego osady udokumentowano w basenie uniejowskim (Peters-Zganiacz i in. 2010; Pawłowski i in. 2013). W tym czasie istniało zastoisko w Kotlinie Warszawskiej, którego ślady stwierdzone są także w pradolinie (Jewtuchowicz 1970; Merta 1986; Forsyia i in. w druku).

Funkcjonowanie rzeki w obrębie dna pradoliny w Łęczycy w okresie interglacjału eemskiego, wczesnego vistulianu i plenivistulianu jest trudne do określenia. Położenie osadów eemskich w dolinie Warty w basenie uniejowskim (Peters-Zganiacz i in. 2013) oraz w dolinie Wisły w Kotlinie Warszawskiej (Sarnacka 1982; Marks, Pochocka 1999) i różnice położenia ich rzędnych wobec rozcięcia w strefie dna pradoliny w Łęczycy wskazują, że przebieg większych rzek wykorzystujących pradolinę mógł być podobny do współczesnego. Głębokie położenie dna pradoliny przed plenivistulianem górnym może sugerować dość niskie położenie spągu serii piasków plenivistulianских (93–95 m n.p.m.) w rozcięciu ujściowego odcinka doliny Bzury (rys. 3), nawiązującym właśnie do ówczesnego pradoliny. Także dobrze rozwinięte, liczne i głęboko wcięte doliny denudacyjne na stokach dna pradoliny, które rozwijały się w regionie łódzkim już od wczesnego vistulianu (Klatkova 1965; Turkowska 2006), mogą świadczyć o niskim położeniu dna pradoliny w rejonie Łęczycy.

Uaktywnienie odpływu w pradolinie ze wschodu na zachód mogło nastąpić dopiero podczas maksymalnego zasięgu zlodowacenia wisły, kiedy zablokowany został przepływ wód proglacialnych i ekstraglacialnych doliną dolnej Wisły. W Kotlinie Warszawskiej i w odcinkach ujściowych wpadających do nich dolin powstało zastoisko warszawskie. Problem jego odwadniania był dyskutowany w piśmiennictwie (Wiśniewski 2003; Molewski 2014), a prezentowane poglądy zostały zebrane w artykule przygotowanym do druku (Forysiak i in. w druku). Odprowadzanie wód z zastoiska odbywało się w kierunku zachodnim, łęczyckim odcinkiem pradoliny warszawsko-berlińskiej. Porównanie położenia stropu osadów zastoiskowych z rzędną rozcięcia stanowiącego podłoże dla osadów korelowanych z plenivistulianem górnym w Łęczycy wskazują na istnienie warunków do takiego przepływu. Seria mułków piaszczystych w strefie dna pradoliny w przekroju Orszewice–Kuchary znajdująca się na rzędnych 80–91 m n.p.m., oraz w przekroju Łęczycy–Topola 80–88 m n.p.m. może być związana z dystalną częścią tego zbiornika, rozciętą następnie przez płynące ku zachodowi wody zastoiska. Utwory te dość wyraźnie różnią się cechami litologicznymi od mułków ilastych zalegających niżej, zawierają znacznie mniej węgla wapnia, są nieco lepiej wysortowane, a większy udział ziaren typu RM wskazuje na większą domieszkę dobrze obrobionego materiału transportowanego drogą eoliczną. Ich akumulację można wiązać z etapem

nasuwania się lądolodu fazy leszczyńskiej i blokowania odpływu Wisły z Kotliny Warszawskiej do Kotliny Płockiej, a więc formowania zastoiska warszawskiego. Zalegająca powyżej seria piaszczysta powstała w środowisku rzeczonym, rzeki o stosunkowo stabilnych parametrach energetycznych, o czym świadczą mogą wyrównane wskaźniki granulometryczne dla badanych profili (rys. 4). W analizie obróbki ziaren kwarcu zaznacza się dominacja ziaren eolizowanych, wskazująca na dostawę materiału dobrze obrobionego z obszaru ekstraglacialnego. W utworach rzeczonych datowanych na plenivistulian górnym, w dolinie Warty i innych dolinach rzeczonych środkowej Polski udział ziaren typu RM jest podobny lub nieco większy (Manikowska 1993; Goździk 2007), ale zwraca też uwagę nieco większy niż we wspomnianych utworach fluwialnych udział ziaren EL, co z kolei może potwierdzać dostawę pewnej części materiału z rzecznotodowcowego środowiska. Ważny jest także niewielki, ale stały udział węgla wapnia w omawianej serii piaszczystej (do około 2%), podczas gdy w typowych utworach fluwialnych roztokowej rzeki górnoplenivistuliankiej, na przykład w dolinie Warty, nie stwierdza się domieszki węgla wapnia (Peters 2002; Forysiak 2005). Można więc przypuszczać, że rozproszony materiał z węglem wapnia może pochodzić w rozmywania osadów zastoiska warszawskiego albo z bezpośredniej dostawy rzecznotodowcowej. Podkreślić należy, że w serii piaszczystej nieco grubszy materiał, z dominacją piasku średnioziarnistego stwierdzono w przekroju Łęczycy–Topola, a więc w strefie „przełomu”, gdzie w wyniku zwężenia kopalnej formy doliny, jak i ujścia doliny Bzury, również dostarczającej wody z materiałem klastycznym, mogły panować warunki nieco wyższej energii przepływu. Być może akumulacja tego materiału była czasowo zbieżna z maksymalną dostawą wody i materiału z zastoiska i z przedpola lądolodu, ale też relatywnie najlepszą dostępnością materiału luźnego w obszarze ekstraglacialnym, spowodowaną nastaniem warunków pustyni mroźnej (Goździk 2007). Wspomniany już ujściowy odcinek doliny Bzury (miedzy Łęczycą a Tumem) poza tym, że był miejscem akumulacji utworów rzeczonych z obszaru ekstraglacialnego, mógł też być elementem systemu rozcięć niższej rangi, równoległych do osi pradoliny. Takim przykładem jest dolina ciekę Malina, przebiegająca w rejonie Góry Świętej Małgorzaty, następnie w sąsiedztwie grodziska w Tumie. Doliny takie mogły stanowić dodatkową drogę odprowadzania wód z rozległego rozszerzenia pradoliny w rejonie Piątku.

Spąg serii piaszczystej, utożsamiany z końcem plenivistulianu górnego znajduje się w rejonie Oreszewice–Kuchary na rzędnej około 97–98 m n.p.m., w Łęczycy około 96–97 m n.p.m., podobnie w Wilkowicach, jedynie w Błoniu, w obrębie lokalnego wyniesienia w dnie pradoliny jest to około 100 m n.p.m. Z takim położeniem dna ówczesnej doliny rzecznej należy utożsamiać zakończenie aktywności procesów fluwialnych, a w końcowym etapie zapewne i fluwioeolicznych. Przebudowa systemu odwodnienia przedpola łądolodu zlodowacenia wisły po jego recesji z zasięgu fazy poznańskiej wywołała nie tylko zdrenowanie zastoiska warszawskiego i skierowanie odpływu wód proglacialnych do pradoliny toruńsko-eberswaldzkiej, ale też powstanie silnego impulsu erozyjnego w dolinach środkowej Polski i morfologiczne wyłonienie teras wysokich (Turkowska 1988; Forysiak 2005). Dzięki temu dno pradoliny w Łęczycy znalazło się w pozycji podobnej do powierzchni teras dolin rzecznych środkowej Polski.

Stropowy kompleks osadów organiczno-mineralnych w pradolinie powstał w późnym vistulianie i rozwijał się w holocenie. Dolna warstwa drobnych piasków z materiałem organicznym powstawała w warunkach aktywnych procesów eolicznych, a zapewne dobrze nawodnione dno pradoliny stanowiło dogodny obszar do akumulacji materiału mineralnego na powierzchni, na którą zapewne wkraczała już roślinność. W licznych ale płytkich obniżeniach takiej powierzchni pojawiła się woda, dając warunki do akumulacji kilkudziesięciocentymetrowych warstw gytyi. Następnie całość powierzchni dna pradoliny uległa zatorfieniu.

## Podsumowanie

Warunki geologiczne i geomorfologiczne prawdopodobnie sprzyjały rozwojowi i odtwarzaniu dolin marginalnych o przebiegu podobnym do pradoliny warszawsko-berlińskiej podczas zlodowaceń plejstocenijskich, ale udokumentowane geologiczne i morfologiczne ślady funkcjonowania odpływu marginalnego w badanym odcinku pradoliny związane są ze schyłkiem zlodowacenia odry.

Terasa wysoka oraz terasa środkowa pradoliny warszawsko-berlińskiej w rejonie Łęczycy mogły być kształtowane podczas tego, ostatniego na tym terenie zlodowacenia. W przeważającej części są to erozyjne powierzchnie gliniaste, porozielane słabo zaznaczonymi wypełnieniami

rozcięć, które wypełnione są osadami rzeczno-lodowcowymi stadiału warty, lub rzecznyymi.

Wypełnienie dna pradoliny złożone zostało w rozcięciu ukształtowanym jeszcze podczas schyłku stadiału warty. Składa się z trzech głównych serii:

- mułków piaszczystych, zdeponowanych, jak się wydaje w początkowym okresie kształtowania układu odwodnienia przedpola łądolodu wisły (zastoisko warszawskie – pradolina warszawsko-berlińska);
- serii piaszczystej, formowanej podczas funkcjonowania rzeki odwadniającej zastoisko, obszar ekstraglacialny i przyjmującej wody bezpośrednio ze strefy czoła łądolodu zlodowacenia wisły;
- serii piasków z materiałem organicznym wraz z powierzchniowym pokładem utworów biogenicznych, utworzonych po zakończeniu funkcjonowania odpływu marginalnego, podczas późnego vistulianu i w holocenie.

Znaczenie podłoża podczwartorzędowego i jego dynamiki dla przebiegu formowania pradoliny warszawsko-berlińskiej w rejonie Łęczycy, jak też powiązanie etapów kształtowania terasy średniej i wysokiej z zasięgami faz zlodowaceń tego obszaru wymagają dalszych prac badawczych.

Badania wykonane zostały w ramach projektu Uniwersytetu Łódzkiego UŁ IDUB (62/2021) oraz wsparciu ze środków Narodowego Centrum Nauki (DEC-2014/15/B/ST10/03809).

## Literatura

- Baraniecka M.D. 1975. Zależność wykształcenia osadów czwartorzędowych od struktur i dynamiki podłoża w środkowej części Niżu Polskiego. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* 288, *Z badań czwartorzędu w Polsce* 16: 5-97.
- Borówka M. 1991. Problem odpływu pradolinowego wód roztopowych fazy leszczyńskiej w Wielkopolsce w świetle literatury i analizy morfometrycznej poziomów terasowych. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią, seria A* 42: 19-48.
- Domosławska-Baraniecka M.D. 1960, Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, arkusz Łęczycy. Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Domosławska-Baraniecka M.D. 1968, Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Pol-

- ski 1:50 000, arkusz Łęczyca. Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Dylik J. 1967. Główne elementy paleogeografii młodszego plejstocenu Polski Środkowej. W: R. Galon, J. Dylik (red.) *Czwartorzęd Polski*. PWN, Warszawa: 311-352.
- Forsyśiak J. 2005. Rozwój doliny Warty między Burzeninem i Dobrowem po zlodowaczeniu warty. *Acta Geographica Lodziensia* 90.
- Forsyśiak J. 2014. Pradolina warszawsko-berlińska jako główna forma w morfologii terenu okolic Łęczycy. W: R. Grygiel, T. Jurek (red.) *Początki Łęczycy*, tom I. *Archeologia Środowiskowa Średniowiecznej Łęczycy*: 25-37.
- Forsyśiak J., Czubla P., Marosik P. 2015. Geologiczne i geomorfologiczne warunki lokalizacji grodziska w Tumie. *Prace i Materiały Muzeum Archeologicznego i Etnograficznego w Łodzi, Seria Archeologiczna* 46: 89-104.
- Forsyśiak J., Janas W., Brzozowicz D., Rudna M., Krystek M. 2024. Osady biogeniczne pradoliny warszawsko-berlińskiej w rejonie Łęczycy i Błonia (środkowa Polska) jako wskaźnik zmian środowiska. *Acta Geographica Lodziensia* 116: 153-170.
- Forsyśiak J., Majecka A., Marks L., Bujak Ł., Twardy J. w druku. The question of drainage of the Warsaw ice-dammed lake, Central Poland. *Geographia Polonica*.
- Goździk J.S. 2007. The Vistulian aeolian succession in central Poland. *Sedimentary Geology* 193(1-4): 211-220.
- Jewtuchowicz S. 1967. Geneza pradoliny warszawsko-berlińskiej między Nerem a Moszczenicą. *Prace Geograficzne IG PAN* 62.
- Jewtuchowicz S. 1970. Rozwój rzeźby okolic Łęczycy po zlodowaczeniu środkowopolskim. *Prace Geograficzne IG PAN* 85.
- Jeziorski J. 2014. Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz Piątek. Instytut Geologiczny, Warszawa
- Klatkowa H. 1965. Niecki i doliny denudacyjne. *Acta Geographica Lodziensia* 19.
- Krajewski K. 1977. Poziomy terasowe w pradolinie warszawsko-berlińskiej między Wartą a Wzgórzami Domaniewickimi. *Acta Universitatis Lodzianis. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Łódzkiego, Nauki Matematyczno-Przyrodnicze* 5: 99-108.
- Krzemiński T. 1997. Cechy rozwoju i zaniku lądolodu warciańskiego w Środkowej Polsce. *Acta Universitatis Lodzianis. Folia Geographica Physica* 1: 47-65.
- Kucharska M., Krawczyk M. 2022. Szczegółowa mapa geologiczna Polski, arkusz Łęczyca. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Manikowska B. 1993. Mineralogy and abrasion of sand grains due to Vistulian (Late Pleistocene) aeolian processes in Central Poland. *Geologie Mijnbouw* 72: 167-177.
- Marks L., Pachocka K. 1999. River valleys of the Eemian Interglacial in central Poland. *Geological Quarterly* 43(2): 163-168.
- Marks L., Grabowski J., Stępień U. (red). 2022. Mapa geologiczna Polski 1:500 000. A – Mapa powierzchni terenu. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa
- Marosik P., Forsyśiak J. 2014. Ukształtowanie terenu, budowa geologiczna i rozwój paleogeograficzny otoczenia grodziska w Tumie. W: R. Grygiel, T. Jurek (red.) *Początki Łęczycy*, tom I. *Archeologia Środowiskowa Średniowiecznej Łęczycy*: 59-94.
- Merta T. 1986. Varve sedimentation in extra-glacial ice-dammed lakes. *Acta Geologica Polonica* 36(4): 325-336.
- Mojski J.E. 2005. Ziemia polskie w czwartorzędzie: Zarys morfogenezy, Warszawa.
- Molewski P. 2014. Paleogeograficzne uwarunkowania odpływu wód z zastoiska warszawskiego doliną Bachorzy i pradoliną warszawsko-berlińską w czasie stadiau głównego zlodowaczenia wisły. *Landform Analysis* 25: 105-114.
- 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: 277.
- 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: 679-696.
- Petera J. 2002. Vistuliańskie osady dolinne w basenie uniejowskim i ich wymowa paleogeograficzna. *Acta Geographica Lodziensia* 83.

- Petera-Zganiacz J., Czubla P., Gruszka B., Forysiak J., Miotk-Szpiganowicz G., Olszak I., Pawłowski D. 2010. The Koźmin glacial lake – its origin, age, deposits and palaeoecology. *2th Annual Conference of the INQUA PeriBaltic Working Group „Ice, water, humans” – Quaternary landscape evolution in the PeriBaltic region*, Greifswald: 141-142.
- Petera-Zganiacz J., Borówka R.K., Forysiak J., Miot-Szpiganowicz G., Pawłowski D. 2013. Palaeogeographical significance of the Eemian biogenic sediments at the Bór site (Warta River valley, central Poland). *Geological Quarterly* 57 (4): 687-700
- Poborski J. 1957. O wstępnych badaniach struktury solnej pod Łęczycą. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* 105: 161-186.
- Rdzany Z. 2009. Rekonstrukcja przebiegu zlodowacenia warty w regionie łódzkim. Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Rdzany Z. 2014. Budowa geologiczna i rzeźba terenu. W: L. Kucharski, D. Kopeć (red.) *Pradolina Bzury–Neru. Monografia przyrodnicza obszaru Natura 2000*. Towarzystwo Przyrodników Ziemi Łódzkiej, Łódź: 11-16.
- Rotnicki K. 1987. Main phases of erosion and accumulation in the middle and lower Prosna valley in the last glacial–interglacial cycle. *Geographia Polonica* 53: 53-65.
- Rotnicki K., Borówka R.K. 1990. New data on the age of the maximum advance of the Vistulian ice sheet during the Leszno Phase. *Quaternary Studies in Poland* 9: 73-83.
- Sarnacka Z. 1982. Age revision of the Warsaw proglacial lake in the Warsaw region. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* 343: 59-70.
- Tarka R. 1992. Tektonika wybranych złóż soli w Polsce na podstawie badań mezostrukturalnych. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego* 147: 1-47.
- Turkowska K. 1988. Rozwój dolin rzecznych na Wyżynie Łódzkiej w późnym czwartorzędzie. *Acta Geographica Lodziana* 57.
- Turkowska K. 2006. Geomorfologia region łódzkiego. Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Wiśniewski E. 2003. The problem of outflow from the ice-dammed lake in the Warsaw Basin during the Leszno Phase. *Prace Geograficzne IGI PAN* 189: 123-142.
- Wiśniewski E., Andrzejewski L. 1994. The problem of the Warsaw ice-dammed lake drainage through the Warsaw-Berlin Pradolina at the last ice-sheet maximum. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* 95: 141-149.
- Znosko J. 1998. Mapa tektoniczna Polski. W: Atlas tektoniczny Polski. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

## Summary

Shaping the outflow of proglacial and extraglacial water in the Central Polish Lowlands during the Pleistocene glaciations has been discussed for many decades. The functioning of the Warsaw–Berlin ice-marginal spillway already during a retreat of the ice sheet during the penultimate glaciation (MIS-6) is unanimously accepted (Jewtuchowicz 1967, 1970; Mojski 2005; Turkowska 2006). The ice-marginal spillway and geological structures in the vicinity of Łęczyca proved that this outflow train was active both during the Warta Stadial (MIS-6) and the Vistulian Glaciation (MIS-2) (Jewtuchowicz 1967, 1970). Opinions questioning the continuity of the ice-marginal spillway between the Warsaw Basin and the Koło Basin were based primarily on the presence of a watershed between Łęczyca and Topola and the slope of the contemporary floor of the ice-marginal spillway to the east and west of Łęczyca (Wiśniewski 2003; Turkowska 2006). Another problem present in the discussion about the continuity of the Warsaw–Berlin ice-marginal spillway is the possible halotectonic activity around Łęczyca and southern Kujawy Lakeland (Poborski 1957; Tarka 1992; Molewski 2014).

In the geomorphology of the studied part of the ice-marginal spillway, its three terraces were distinguished (Krajewski 1977). The high terrace is largely erosional and its surface is composed primarily of Saalian (MIS-6) till and glacial and glaciofluvial sands and gravels. The middle terrace is composed of erosive fragments, built mainly of glacial formations (MIS-6) (Jeziorski 2014; Kucharska, Krawczyk 2022). The third,

lowest terrace forms the bottom of the ice-marginal spillway.

In order to supplement the geological data (Kucharska, Krawczyk 2022), new drillings were made in the floor of the ice-marginal spillway, and material for lithological analyses was collected from the infilling sediments. Grain-size analysis and content of carbonates were determined (Myślińska 2010). The morphoscopy of quartz sand grains was analysed using the Cailleux method in the modification proposed by Manikowska (1993).

The Warsaw–Berlin ice-marginal spillway near Łęczyca has been partly filled with sediments since the end of the Odranian (Saalian) glaciation. It consists of three main series:

- sandy muds, deposited in the initial period of shaping the drainage system in the foreland of the Vistulian ice sheet (draining of the Warsaw ice-dammed lake through the Warsaw–Berlin ice-marginal spillway);
- sand deposited by the rivers: draining the ice-dammed lake, the extraglacial area and receiving proglacial waters, directly from the front of the ice sheet;
- sand with organic material, with biogenic formations at the land surface, formed after the end of the marginal outflow, during the Late Vistulian and the Holocene.

The importance of the sub-Quaternary basement and its dynamics for a development of the Warsaw–Berlin ice-marginal spillway in the Łęczyca area, as well as the relation of the middle and high terraces with the ice sheet phases in this area require further research.