

**CECHY SEDYMENTOLOGICZNE I WARUNKI DEPOZYCJI OSADÓW  
STOŻKA AKUMULACYJNEGO W DOLINIE RZEKI SERTEJKI  
(ZACHODNIA ROSJA)**

**Sedimentological features and depositional conditions of deposits of  
the accumulative fan in the Serteyka River valley (Western Russia)**

WIKTOR PIECH\*, PIOTR KITTEL\*, ANDREY MAZURKEVICH\*\*, ELENA PAVLOVSKAIA\*\*\*,  
EDUARD KAZAKOV\*\*\*\*, YULIA TELTEVSKAYA\*\*\*\*\*, KRZYSZTOF BŁASZCZYK\*\*\*\*\*,  
BARTOSZ KOTRYS\*\*\*\*\*

**Zarys treści.** Artykuł skupia się na analizie czynników klimatycznych i antropogenicznych wpływających na rozwój rozległego stożka akumulacyjnego powstałego w dolnym odcinku doliny rzeki Sertejki w zachodniej Rosji. W osadach budujących stożek rozpoznano kilka warstw osadów, tj. trzy serie deluwiów (dolna, środkowa i górna), proluwia, a także koluwia i diamikton rolny, które różnią się cechami tekstualnymi i strukturalnymi. Wykonano analizy uziarnienia i zestawiono cechy teksturalne badanych osadów stokowych: średnią średnicę ziaren, skośność, odchylenie standardowe, kurtozę. Następnie dokonano oraz omówiono relacje wybranych parametrów uziarnienia. Otrzymane wyniki wskazują na niewielką odmienność cech teksturalnych osadów budujących stożek w stosunku do materiału źródłowego. Deluwia dolne charakteryzują się bardzo słabo wykształconym laminowaniem i jasnobrunatnożółtą barwą, deluwia środkowe mają barwę brunatną, a wartości wskaźników teksturalnych są do siebie zbliżone. Znamienne dla deluwiów górnych jest subhoryzontalne warstwowanie. W tej warstwie notowane są również wahania wartości wskaźników teksturalnych. Diamikton rolny jest osadem zagęszczonym i masywnym, powstałym wskutek mieszania deluwiów górnych poprzez orkę. Wszystkie wyróżnione serie cechują się małą zawartością węglanu wapnia. Rozwój stożka rozpoczął się w trakcie pessimum Małej Epoki Lodowej wskutek zmian klimatu i zwiększenia liczby ulewnych deszczy oraz intensyfikacji antropopresji. Rozpoznano sześć zasadniczych etapów kształtowania badanej formy, które są związane głównie ze zmianami użytkowania terenu i wzrostem intensywności antropopresji na przestrzeni ostatnich 300 lat.

**Słowa kluczowe:** osady stokowe, rozcięcia erozyjne, akumulacja osadów, antropopresja, Europa Wschodnia

**Abstract.** The article focuses on the analysis of climatic and anthropogenic factors affecting the development of the accumulative fan in the lower sector of the Serteyka River valley in Western Russia. Within the fan deposits, several layers of sediments were identified, i.e. three units of deluvium (lower, central and upper), proluvium and also colluvium and tillage diamicton, which differ in textural and structural features. The grain size analysis was made and the textural features of the studied slope sediments were compared: mean grain diameter, skewness, standard deviation, kurtosis. Then, the relations of selected grain size parameters were interpreted. The obtained results indicate a rather small transformation of the accumulative fan in relation to the textural features of the source material. Lower deluvium is characterized by very weak lamination and light brown yellow color, the central deluvium has a brown color and the textual indicators are similar. Subhorizontal stratification is significant for the upper deluvium. This layer is characterized also by fluctuations in the value of sedimentological indices. Tillage

---

\* Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Katedra Geomorfologii i Paleogeografii, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź, Polska; e-mail: wikt.piech@unilodz.eu, piotr.kittel@geo.uni.lodz.pl

\*\* The State Hermitage Museum, ul. Dvortsovaya Naberezhnaya 34, 190000 Saint Petersburg, Russia; e-mail: a-mazurkevich@mail.ru

\*\*\* Saint Petersburg State University, Faculty of Earth Sciences, Institute of Earth Sciences, Department of Geophysics, ul. Dekabristov 16, 199155 Saint Petersburg, Russia; e-mail: pavlovskai.elena@gmail.com

\*\*\*\* Nansen International Environmental and Remote Sensing Center; 14th Line 7 V.O., 199304 Saint Petersburg, Russia; e-mail: e.kazakov@spbu.ru

\*\*\*\*\* Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Cartography and Geoinformatics, 10<sup>th</sup> Line V.O., 199178 Saint-Petersburg, Russia; e-mail: yulya.teltevskaia@mail.ru

\*\*\*\*\* Muzeum Regionalne im. Stanisława Sankowskiego w Radomsku, ul. Narutowicza 1, 97-500 Radomsko, Polska; e-mail: artefakt-archeo@o2.pl

\*\*\*\*\* Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Pomorski; ul. Henryka Wieniawskiego 20, 71-130 Szczecin, Polska; e-mail: bkotr@pgi.gov.pl

diamicton is represented by thickened and massive sediment formed as a result of mixing of the upper deluvium by plowing. All featured series have a low content of calcium carbonate. The development of the fan began during the pessimum of the Little Ice Age due to climate change and an increase in the number of heavy rains, an also as a result of rising human impact. Six stages of the development of the studied relief form were identified, which are mainly associated with changes in land use and an increase in the intensity of anthropopression over the last 300 years.

**Key words:** slope deposits, erosion cut, accumulation, human impact, Eastern Europe

## Wstęp

Środowisko naturalne wielu obszarów Europy w ostatnim tysiącleciu podlegało coraz silniejszym oddziaływaniom antropogenicznym, a także zmieniającym oddziaływaniom naturalnym, przede wszystkim związanym ze zmianami klimatycznymi. Świadczenia tych zmian zachowały się m.in. w osadach stokowych (Starkel 2005; Dotterchweich 2008; Twardy 2008, 2017; Dreibrodt i in. 2010; Dotterweich, Dreibrodt 2011). Ewolucja form rzeźby i akumulacja osadów są ze sobą sprzężone. Aby poznać i zrekonstruować proces tworzenia pokryw osadowych i zidentyfikować fazy powstawania form związanych z tymi procesami należy posłużyć się szeroką gamą dostępnych narzędzi badawczych, z wykorzystaniem m.in.: kartowania geologicznego i sondowań geologicznych, specjalistycznych analiz geochemicznych, teksturalnych i strukturalnych oraz różnorodnych metod bezwzględnych datowań osadów i analiz paleoekologicznych.

Głównym czynnikiem odpowiedzialnym za przekształcenia rzeźby w warunkach antropopresji, a nawet powstawanie nowych form rzeźby, i co za tym idzie akumulacji osadów stokowych, jest działalność ludzka związana głównie z: deforestacją, zakładaniem punktów osadniczych, uprawą ziemi czy tworzeniem szlaków drogowych. Przyczyniało się to do intensyfikowania procesów stokowych, co skutkowało zmianą profili stoków oraz powstawania form geomorfologicznych, takich jak: pokrywy stokowe, parowy, tzw. rozcięcia drogowe czy terasy rolne (Twardy 2000, 2003; Twardy i in. 2014).

Poesen (2018) wskazuje na coraz większą powszechność występowania denudacji mechanicznej w skali globalnej. Jednocześnie zauważa brak dostatecznej wiedzy pozwalającej na przewidywanie efektów zmian środowiskowych w odniesieniu do rozwoju parowów i rozcięć erozyjnych. Trudnym do monitorowania procesem jest sufozja, która ma największy wpływ na rozwój stoków w obszarach lessowych (Zgłobicki i in. 2014; Poesen 2018). Od XVI wieku na terenie wschodniej Europy wylesianie postępowało coraz szybciej i obejmowało coraz większe obszary, jednakże rewolucja przemysłowa, która była bodźcem do intensyfikowania denudacji i erozji na jeszcze

większą skalę, nie dotarła na te tereny do roku 1850 (Kaplan i in. 2009).

W długiej skali czasowej rozwój procesów erozyjno-denudacyjnych spowodowanych zmianą użytkowania terenu prowadzi do spłaszczenia profili podłużnych stoków i obniżania ich powierzchni, a także rozwoju form erozyjnych. Zmiany w szacie roślinnej związane z rozwojem rolnictwa oraz intensywnym pozyskiwaniem drewna pociągały za sobą w okresie nowożytnym zachwianie geosystemów i uaktywnienie procesów erozji liniowej, co udokumentowano w różnych obszarach Europy Środkowej (por.: Twardy 2008; Kaplan i in. 2009; Dotterweich i in. 2012; Twardy i in. 2014; Zgłobicki i in. 2014). Wpływ działalności ludzkiej na przyspieszenie denudacji i erozji na obszarze Niżu Środkowoeuropejskiego notowany jest już od XI w., a silniejsze oddziaływanie antropogeniczne zaznaczyły się pomiędzy XIV w. a XVI w. (Belyaev i in. 2005; Panin i in. 2009, 2011).

Materiał akumulowany w obrębie den dolinnych pochodzi w znacznej mierze z erozji wąwozowej i denudacji stoków. Jednocześnie rozcinanie den zwłaszcza niewielkich dolin następowało w wyniku rozwoju erozji spowodowanej intensywnymi opadami deszczu, głównie splukiwania liniowego oraz erozji wgłębnej. Na skutek pogłębienia den dolinnych niektóre formy erozyjne (parowy) na stokach stały się formami zawieszonymi (Twardy 1995; Smolska 2005).

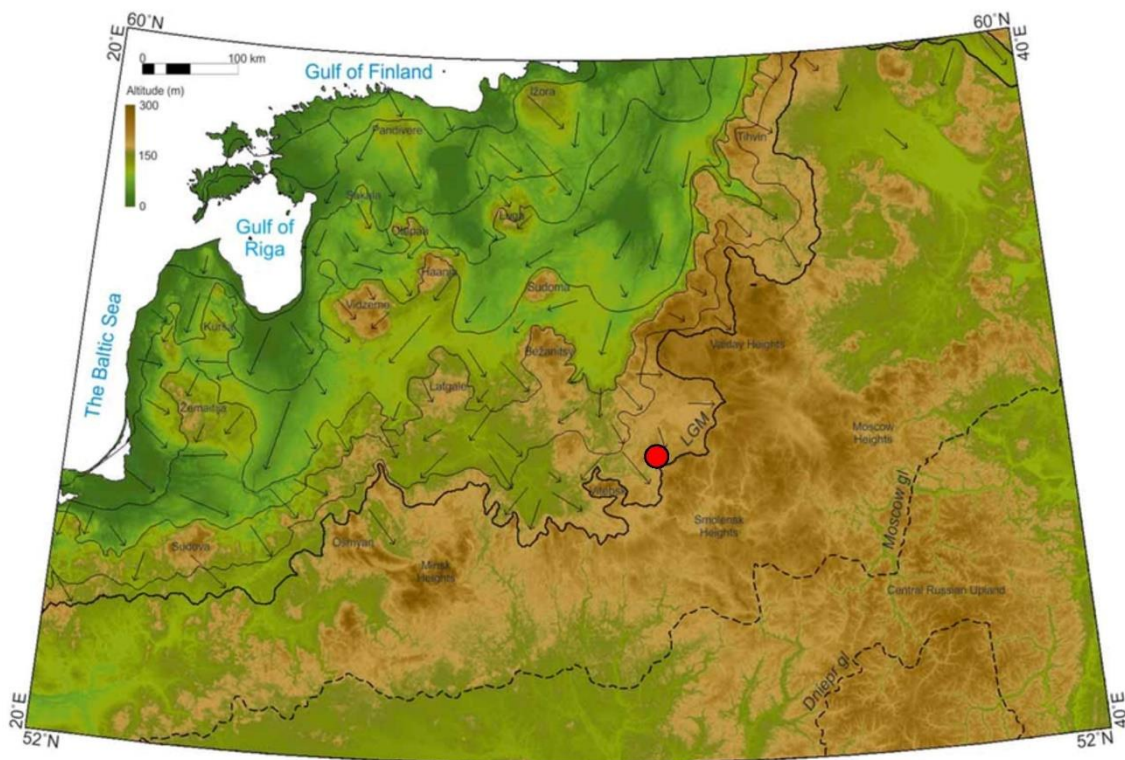
Celem artykułu jest analiza cech strukturalnych i teksturalnych oraz podstawowych cech geochemicznych osadów stożka akumulacyjnego, wydzielenie faz jego rozwoju oraz rozpoznanie czynników mających wpływ na rozwój formy.

## Położenie obszaru badań na tle budowy geologicznej i rzeźby

Teren badań pod względem administracyjnym położony jest w północno-zachodniej części Obwodu Smoleńskiego, przy granicy z Ob. Pskowskim i Ob. Twerskim. Obszar znajduje się w Europie Wschodniej, a w regionalizacji fizycznogeograficznej wg Kondrackiego (1992) odpowiednio w megaregionie Nizina Wschodnioeuro-

pejska, prowincji Niż Wschodniobałtycko-Białoruski, podprowincji Pojezierza Wschodniobałtyckie, makroregionie Pojezierze Witebskie i mezoregionie Równina Suraska (842.22). W rosyjskich regionalizacjach obszar ten najczęściej jest określany jako Pojezierze Zachodnio-Dźwińskie (Западно-Двин-

ске (Смоленске) поозерье – Zapadno-Dvinske (Smolenske) Poozer'ye) (Abramov 1972). Rzeźba terenu badań została w swych zrębach ukształtowana podczas ostatniego zlodowacenia Valdai (vistulian) (rys. 1) (Velichko i in. 2011; Mazurkevich i in. 2012; Gorlach i in. 2015).



Rys. 1. Obszar badań na tle zasięgów zlodowaceń w zachodniej Rosji (Gorlach i in. 2015)

Study area in relation to glacial limits in Western Russia (Gorlach *et al.* 2015)

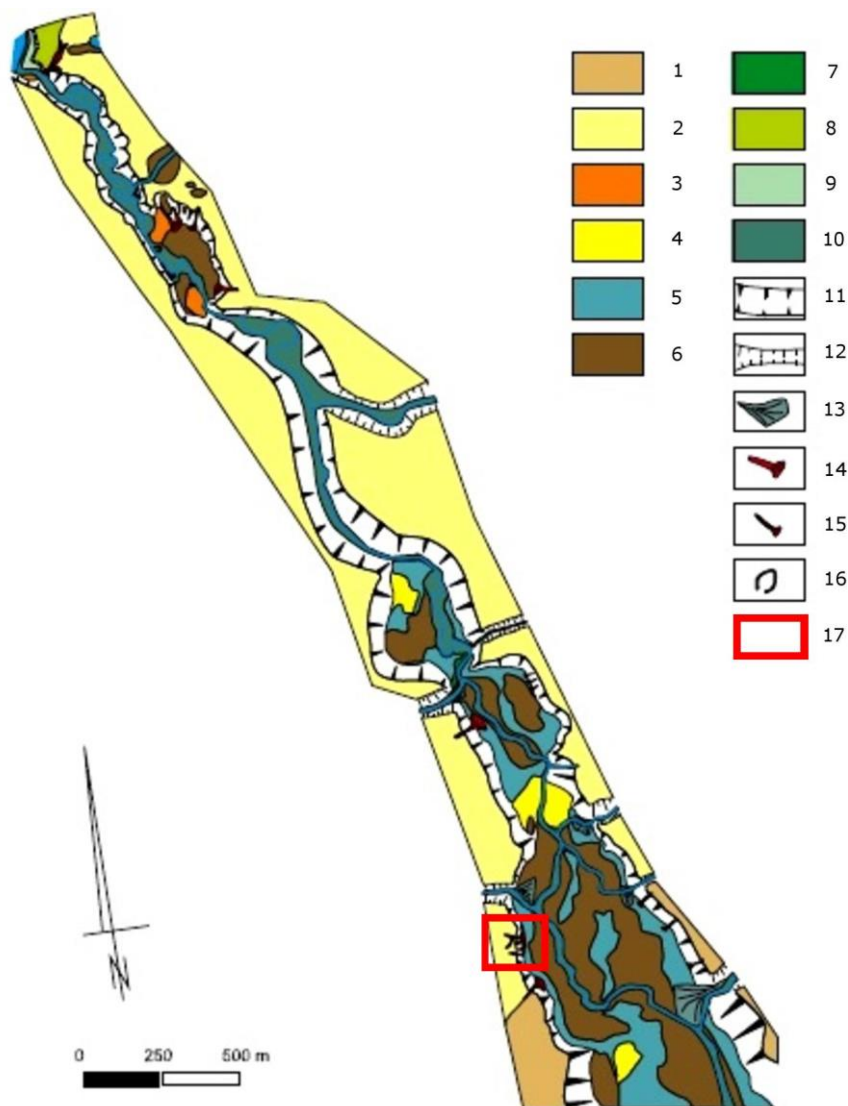
Badania prowadzono w obrębie doliny rzeki Sertejki, lewego dopływu Dźwiny. Strone zbocza współczesnej doliny są porożcinane licznymi formami erozyjnymi, takimi jak: parowy, debrze, czy wąwozy. U ujścia części z nich, rozwinięte są miejscami rozległe stożki akumulacyjne. Tego typu formy zostały wstępnie rozpoznane w trakcie kartowania geologicznego i geomorfologicznego obszaru.

Należy podkreślić, że dolina Sertejki wykorzystuje rynnę subglacialną powstałą w trakcie ostatniego zlodowacenia. Rynna zakonserwowana została przez bryły martwego lodu, które, wytapiając się, dały początek kilku zbiornikom jeziornym. W holocenie doszło do stopniowego zdrenowania zbiorników przez rzekę Sertejkę w efekcie erozji wstecznej (Kalicki i in. 2015; Kittel i in. 2016).

W otoczeniu południowego fragmentu doliny rzeki Sertejki dominują gliny morenowe (vistulian), a jej północny (dolny) odcinek wcięty jest w równinę sandrową. Zbocza doliny w bezpośrednim sąsiedztwie badanych parowów zbudowane są z vistuliańskich piasków wodnolodowcowych (rys. 2). Tego samego wieku są piaszczysto-mułkowe kemy i terasy kemowe, o często nieregularnym kształcie, znajdujące się w dnie doliny w obrębie basenów paleojeziornych. Powierzchnie kemów wznoszą się do 1 m ponad współczesne dno doliny, a ich stoki są pogrzebane przez osady akumulacji biogenicznej subkopalnych jezior oraz aluwia pozakorytowe. W dolnym fragmencie doliny rzeki Sertejki występują cztery misy pojezierne długości od 100 do 2000 m. wypełnione osadami organicznymi, głównie gytiami o miąższości dochodzącej do 8 m (Tarasov i in. 2018). Z analizy pyłkowej i datowań radiowęglowych wynika, iż

osady jeziorne akumulowane były co najmniej od późnego vistulianu (Kulkova i in. 2001; Mazurkevich i in. 2009a, b, 2012; Kalicki i in. 2015; Kittel i in. 2016; Tarasov i in. 2018). W osadach równiny akumulacji biogenicznej jednego z jezior znajdowano włożenia osadów rzecznych, które mogą dowodzić okresowej aktywności rzecznej w fazach zaniku Wielkiego Sertejskiego Basenu Pojeziornego (Большая Сертейская Озерная котловина – Bolshaya Cerseyskaya Ozerneya

Kotlovina). Wierceniami udokumentowano bowiem systemy paleokoryt, które wypełnione są aluwiami datowanymi na okres subborealny i subatlantycki (Kittel i in. 2018, w tym tomie). W stropie równin akumulacji biogenicznej występują subatlantyckie aluwia pozakorytowe. Holocenijskie osady deluwialne budują stożki oraz wypełniają doliny denudacyjne i rozcięcia erozyjne w obrębie rynny subglacjalnej (Kittel i in. 2016).



Rys. 2. Mapa geomorfologiczna dolnego fragmentu doliny rzeki Sertejki (Mazurkevich i in. 2017, zmienione)

1 – równina morenowa; 2 – równina wodnolodowcowa; 3 – ozy; 4 – formy szczelinowe; 5 – kemy, terasy kemowe; 6 – równiny akumulacji biogenicznej; 7 – terasy erozyjne; 8 – terasy aluwialne; 9 – wyższy stopień równiny zalewowej; 10 – dno doliny; 11 – rynna subglacjalna; 12 – stoki doliny; 13 – stożki napływowe; 14 – doliny denudacyjne i stożki deluwialne; 15 – wąwozy, rozcięcia erozyjne i stożki deluwialne; 16 – starorzecza; 17 – analizowane rozcięcia erozyjne

Geomorphological map of the lower fragment of the Serteyka River valley (Mazurkevich *et al.* 2017, modified)

1 – morainic plain; 2 – outwash plain; 3 – eskers; 4 – crevasse fillings; 5 – kames, kame terraces; 6 – organic accumulation plains; 7 – erosional terrace; 8 – alluvial terraces; 9 – upper flood plain; 10 – valley floors; 11 – subglacial channel; 12 – slopes of valleys; 13 – alluvial fans; 14 – denudational valleys and deluvial fans; 15 – gullies, erosional cuts and deluvial fans; 16 – oxbows; 17 – analyzed erosional cuts

Warto podkreślić, że współcześnie nie notuje się ani procesów erozyjnych w dnie parowów i innych rozcięć erozyjnych, ani akumulacji deluwialnej na powierzchni badanego stożka. Dzieje się tak pomimo braku pokrywy leśnej w obrębie omawianych form i okresowej ekstensywnej gospodarki uprawowej w ich otoczeniu. Współcześnie badane formy stanowią nieużytki porośnięte roślinnością zielną z wkraczającymi krzewami i młodymi drzewami.

## **Rys historii osadnictwa na badanym obszarze**

Od mezolitu aż do dzisiaj zarówno stoki, jak i dno doliny rzeki Sertejki były kształtowane oraz wykorzystywane przez społeczności ludzkie (Mazurkevich i in. 2009a, b, 2012). Na tym obszarze odkryto szereg stanowisk archeologicznych, przede wszystkim kultur neolitycznych a wśród nich wyjątkowe w skali światowej osady palafitowe (Mazurkevich i in. 2012). Kolejnym świadectwem obecności człowieka na tym obszarze jest kilka odnalezionych kurhanów wczesnośredniowiecznych (Yeremeyev 2003).

Przez całe średniowiecze obszar ten był strefą pogranicza wpływów kilku państw, co skutkowało małym intensywnym użytkowaniem tego terenu. Rozwinął się w tym okresie system dróg lądowych i wodnych. Intensywna eksploatacja środowiska nastąpiła w XV w., co skutkowało m.in. powstaniem nowych, głównie lądowych, dróg.

Na początku XVI wieku w wyniku nieustannych konfliktów rejon Wieliża (miasta położonego niecałe 30 km od obszaru badań, w którego zasięgu znajduje się dolny odcinek Sertejki) został porzucony. Osadnictwo powróciło na ten obszar w końcu XVI w. po przyłączeniu do Rzeczypospolitej i rozwijało się intensywnie w wieku XVII. W 1714 r. król August II Mocny zezwolił na eksplorację zasobów drzewnych w rejonie Wieliża, co doprowadziło do znacznego odlesienia jeszcze w XVIII w. Pod koniec XVIII i w początkach wieku XIX, po włączeniu tego obszaru do Imperium Rosyjskiego, w wiosce Selezni (niecałe 7 km od obszaru badań) intensywnie rozwijało się rolnictwo, rzemiosło oraz hodowla bydła. Na początku XIX wieku na Niżu Środkowoeuropejskim (południowy fragment) powierzchnia użytków rolnych osiągnęła maksimum (Golosov i in. 2017). Po 1861 r., w rezultacie wprowadzenia reformy rolnej, bardzo szybko zaczął wzrastać udział powierzchni gruntów rolnych.

Z powodu działań wojennych podczas I wojny światowej drastycznie spadła liczba ludności, co doprowadziło do zmniejszenia się użytków rolnych o 10–15%. System gospodarczy wsi po II wojnie światowej zmienił się pod wpływem wzrostu liczby ludności oraz szybkiego rozwoju przemysłu, czego rezultatem była coraz większa urbanizacja i coraz większa deforestacja. W latach 90. XX w. po upadkach kolchozów ludność zaczęła migrować do miast w poszukiwaniu pracy, czego skutkiem było zmniejszenie się powierzchni użytków rolnych (Golosov i in. 2017).

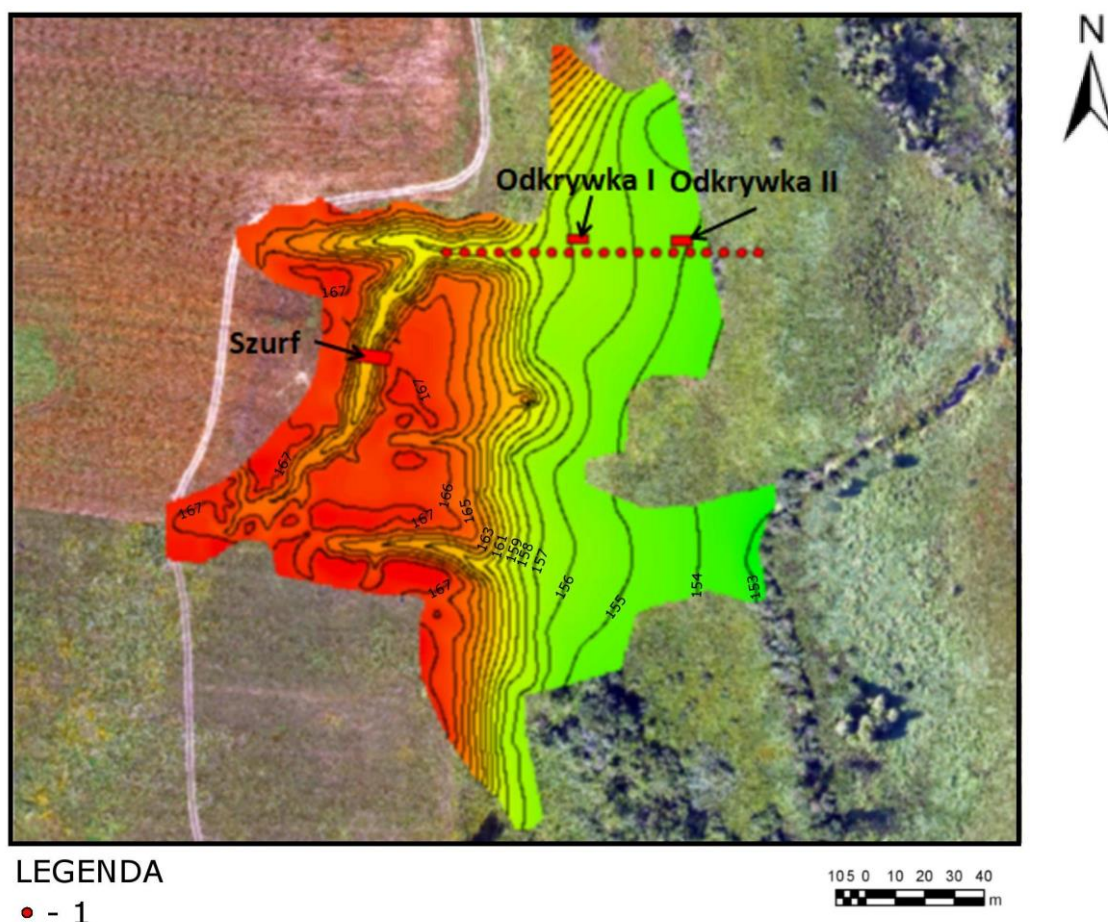
## **Metody badań**

W ramach badań terenowych wykonano szczegółowe kartowanie stożka akumulacyjnego, systemu rozcięć erozyjnych oraz obszaru przyległej równiny wodnolodowcowej (rys. 3). Ponadto wykonano ciąg wierceń ręczną sondą geologiczną Eijkelkamp zaopatrzoną w końcówkę Edelmana typu kombi oraz próbnikiem żłobkowym. Głębokość zalegania osadów określano z dokładnością do 1 cm w próbniku żłobkowym i do 5 cm w sondzie Edelmana. Odległość pomiędzy wierceniami wynosiła 5 m. W strefie centralnej stożka wykonano odkrywkę geologiczną (I) o rozmiarach 5 m długości, 2 m szerokości i 2 m głębokości. Drugą odkrywkę (II) zlokalizowano w strefie dystalnej stożka (5 × 2 m i do 1 m głębokości). Na zboczu rozcięcia erozyjnego, w jego środkowym fragmencie, wykonano odsłonięcie w postaci kolejnych stopni wcinających się w ścianę rozcięcia na 50 cm, przy szerokości 1,5 m. Wysokość stopni odkrywki wynosiła około 50 cm. Odkrywkę tę przedłużono w dnie rozcięcia, tak aby uzyskać pełen przekrój jego wypełnienia. Tutaj szerokość odkrywki wyniosła 1,5 m, długość 3 m, a głębokość 2 m. Wykonana została dokumentacja fotograficzna oraz szkice ścian wykopów i odkrywki, co pozwoliło na zarejestrowanie cech morfologicznych i strukturalnych osadów budujących stożek oraz wypełniających dno parowu i utworów geologicznych budujących otoczenie obu form (osadów źródłowych).

Próbki do analiz teksturalnych pobrano w dwóch profilach. Pierwszy profil zlokalizowany został w odkrywce (I) w strefie centralnej stożka, gdzie próbki pobierano z dokładnością 1–3 cm z poszczególnych, dających się rozróżnić makroskopowo warstw. W przypadku braku możliwości rozpoznania struktury osadu lub braku zmiany jego cech teksturalnych przy ocenie makroskopowej próbki pobierano z dokładnością 5

cm. Profil miał głębokość około 2 m. Zastosowana metoda pobierania próbek pozwoliła na uchwycenie zmian w cechach uziarnienia poszczególnych serii, zwłaszcza warstwowanych deluwiiów. Drugi profil zlokalizowano w odkrywce w środkowym fragmencie rozcięć erozyj-

nych, gdzie próbki do analiz uziarnienia pobierane były ze ściany rozcięcia z osadów podłoża. Dokładność poboru wynosiła 20–50 cm i zależna była od zmian cech strukturalnych osadów. Głębokość profilu wyniosła około 6,3 m. Przeanalizowano w sumie około 100 próbek.



Rys. 3. Lokalizacja punktów badawczych w obrębie analizowanego stożka akumulacyjnego oraz rozcięcia erozyjnego

1 – miejsca wierceń

Location of research points within analysed the accumulative fan and erosive cut

1 – drilling locations

Do analizy uziarnienia wykorzystano metodę sitową zastosowaną dla frakcji osadów powyżej 2,0 mm oraz metodę dyfrakcji laserowej zastosowaną dla frakcji poniżej 2,0 mm (por. Hildebrandt-Radke 2017). Analizy uziarnienia metodą sitową przeprowadzono w laboratorium Wydziału Nauk Geograficznych UŁ, zaś analizy metodą dyfrakcji laserowej wykonano w Pracowni Sedymentologii Uniwersytetu Pedagogicznego im. KEN w Krakowie, używając laserowego miernika uziarnienia MasterSizer 3000 z przystawką wodną firmy Malvern. Następnie obliczono wskaźniki sedymentologiczne: średnią średnicę ziaren ( $M_z$ ), odchylenie standar-

dowe ( $\delta_1$ ), skośność ( $Sk_1$ ), kurtozę ( $K_G$ ). Obliczenia wykonano metodą Folka i Warda (1957) przy użyciu metody kombinowanej uwzględniającej wyniki analiz laserowych i sitowych, używając programu GRADISTAT 5.11 (Blott, Pye 2001). Próbkę przeanalizowane zostały pod kątem zawartości procentowej węgla wapnia metodą objętościową z wykorzystaniem aparatu Scheiblera (Wicik 1993) w laboratorium WNG UŁ.

Datowania radiowęglowe zlecono Laboratorium Datowań Bezwzględnych w Skale. Zostały one wykonane metodą scyntylacyjną. Tą metodą wydatowano dwie próbki, pierwsza to fragment

drewna złożonego w strefie centralnej stożka w stropie gytii grubodetrytusowej, a druga to szyszka ze stropu gytii grubodetrytusowej ze strefy dystalnej. Do kalibracji użyto programu OxCal 4.3. (Bronk Ramsey 2009).

Objętość stożka akumulacyjnego i rozcięcia erozyjnego została obliczona metodą zaproponowaną przez Klimczaka (1988). Materiałem źródłowym były tutaj mapy poziomicowe wykonane na podstawie pomiarów terenowych z użyciem tachimetru laserowego. Odległość kolejnych pikiet była nie mniejsza niż 5 m.

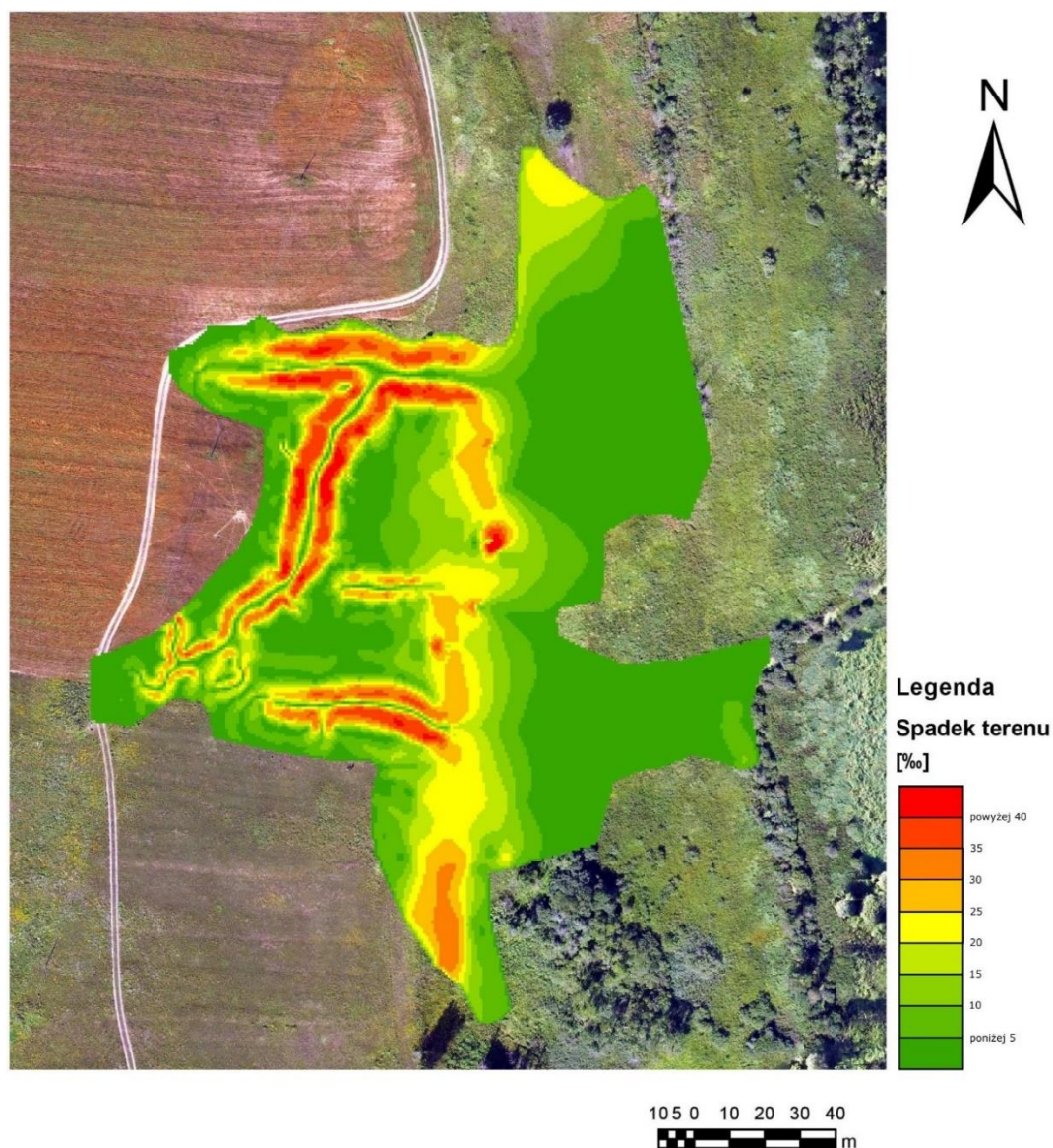
## **Wyniki badań**

Szczegółowej analizie geomorfologicznej poddane zostało rozcięcie erozyjne (parów) rozwinięte w obrębie zachodniego zbocza współczesnej doliny rzeki Sertejki w obrębie Wielkiego Sertejskiego Basenu Pojeziornego oraz stożek akumulacyjny, rozwinięty u wylotu rozcięcia. Forma erozyjna jest bardzo dobrze rozwinięta, wciną się na długości około 110 m w równinę wodnolodowcową (sandrową), tworząc rozgałęziony system rozcięć. Głębokość formy wynosi około 15 m. Szerokość rozcięcia erozyjnego w górnym fragmencie wynosi 3 m, zaś przy ujściu 6 m (rys. 3). Nachylenie stoków tej formy wynosi średnio 30° (rys. 4). Największe nachylenia, ponad 40°, notuje się w środkowym fragmencie systemu rozcięć. Stoki doliny rzeki Sertejki są krótkie (około 10 m) i nachylone pod kątem około 20–25°. Długość stożka wynosi około 70 m. Pomiędzy środkowym fragmentem parowu a krańcem stożka wysokość względna osiąga 6 m. Nachylenie powierzchni stożka osiąga maksymalnie niecałe 10°. Jego objętość wynosi około 3639,6 m<sup>3</sup>, zaś objętość osadów zerodowanych w parowie to około 3883,13 m<sup>3</sup>. Różnica objętości, czyli około 243,53 m<sup>3</sup> osadów najprawdopodobniej została włączona w osady fluwialne, w efekcie erozji stożka w części dystalnej w trakcie wezbrań.

### **Budowa geologiczna stożka akumulacyjnego**

Osady budujące stożek przykrywają bezpośrednio osady fluwioglacjalne i limnoglacialne (piaski i mułki terasy kemowej) w strefie proksymalnej oraz osady biogeniczne (gytia grubodetrytusowa) w strefie centralnej i dystalnej (rys. 5). W stropie gytii zarejestrowano w odkrywce geologicznej

zaleganie dużych fragmentów drewna oraz innych szczątków drzew (szyszki, kora i in.), być może pochodzą one z powalonych drzew. Osady mineralne stożka są oddzielone miejscami od osadów jeziornych mułkami organicznymi, co może świadczyć o wcześniejszym drenażu paleojeziora i akumulacji pozakorytowej. Kwestia ta wymaga jednak dalszych badań z wykorzystaniem analiz paleoekologicznych pobranych rdzeni osadów organicznych. Dno ujścia parowu (odwierty nr 1, 2, 3) wypełnione jest piaskami różnoziarnistymi, w których często natrafiano na bruk erozyjny świadczący o wysokoenergetycznym spływie skoncentrowanym (rys. 5). Dolną część strefy proksymalnej i centralnej stożka tworzą piaski drobnoziarniste pylaste o kolorze jasnożółtym (seria deluwiów dolnych). Przykryte są one serią deluwiów środkowych, utworzonych z piasków drobno- i różnoziarnistych jasnobrunatnych. Widoczna jest tutaj ciemniejsza barwa osadu oraz miejscami masywna struktura. W tej serii rozpoznano subkopalne nory zwierząt. Jednocześnie w NW części odkrywki I stwierdzono częściowe przykrycie stropu serii deluwiów dolnych bezstrukturalnymi piaskami różnoziarnistymi. W obrębie odkrywki osady te formowały niewielki wał, który rozpoznano jako fragment jęzora lub wału koluwalnego. Seria deluwiów środkowych powstała zatem w znacznej mierze w efekcie rozmywania wcześniej zdeponowanych koluwiów. Powyżej zostały złożone warstwowane horyzontalnie deluwia górne zbudowane z piasków drobno- i średnioziarnistych jasnobrunatnożółtych lub jasnobrunatnych. Strop osadów stożka został przekształcony antropogenicznie wskutek działalności agrotechnicznej. Powstała w ten sposób warstwa diamiktonu rolnego o miąższości około 40 cm zbudowanego z piasków różnoziarnistych próchnicznych (rys. 5). W strefie dystalnej stożka, w stropie deluwiów dolnych udokumentowano glebę kopalną. Tworzy ją kilkucentymetrowa warstwa silnie zapiaszczonych mułków organicznych. Zachowane makroskopowe szczątki roślinne wskazują na otwarty krajobraz oraz podmokłe warunki w trakcie formowania tego poziomu (inf. ustna R. Stachowicz-Rybka). Nie można także wykluczyć akumulacji tych osadów w wyniku wezbrania lub powtarzających się wezbrań. W strefie dystalnej stożka następuje wyklinowanie deluwiów dolnych, a deluwia środkowe przechodzą w osady bardziej gruboziarniste (odwierty nr 15, 16), być może proluwia ulegały rozmywaniu w środowisku fluwialnym w trakcie wezbrań. Strop osadów tworzy tu diamikton rolny.



Rys. 4. Spadki terenu w obrębie rozcięć erozyjnych na obszarze badań  
 Slopes within erosional cuts in the research area

Datowania makroskopowych szczątków roślinnych (fragm. drewna i szyszki) ze stropu gytii grubodetrytusowej, nakrytej osadami stożka, dały wyniki odpowiednio:  $160 \pm 35$  lat  $^{14}\text{C}$  BP (MKL-3633) oraz  $140 \pm 40$  lat  $^{14}\text{C}$  BP (MKL-3635). Po kalibracji z prawdopodobieństwem 95,4% uzyskano wiek 1668–1950 AD oraz 1667–1950 AD.

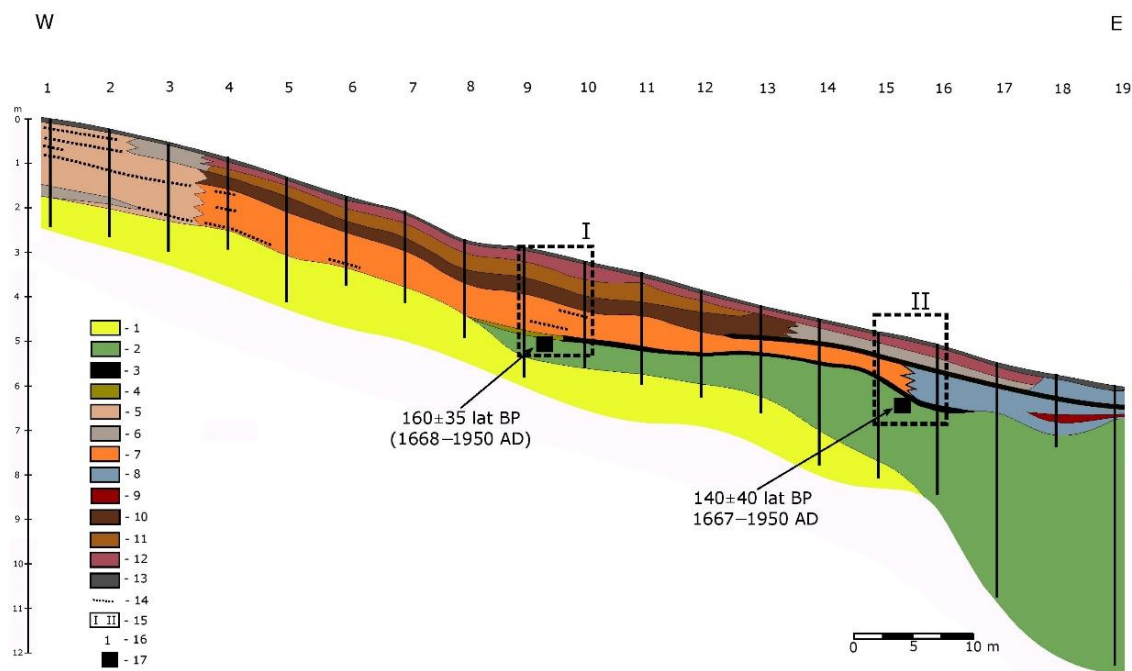
### Cechy teksturalne osadów stożka akumulacyjnego

W strefie centralnej stożka, w odkrywce geologicznej I, udokumentowano: deluwia dolne (190–102 cm), proluwia wypełniające rozcięcia erozyjne w obrębie deluwii dolnych (120 cm, 160 cm), deluwia środkowe (102–66 cm), deluwia górne (66–

40 cm), diamikton rolny (40–5 cm), glebę współczesną (głębokość 5–0 cm) (tab. 1; fot. 1; rys. 6).

Deluwia dolne to piaski drobnoziarniste o barwie jasnobrunatnożółtej, z rzadko występującymi warstwami piasków drobnoziarnistych o barwie ciemnobrunatno żółtej. Seria ta charakteryzuje się rytmicznością zmian wartości wskaźników sedymentologicznych (seria 3 na rys. 7). Średnia średnica ziaren dla deluwii dolnych mieści się w przedziale od 2,9 do 4,3 phi. Osady te odznaczają się dodatnią skośnością (0,04–0,3) i są słabo lub umiarkowanie wysortowane (rys. 7; tab. 2). W tej serii występują liczne niewielkie węgle drzewne. Ich ilość wzrasta od spągu ku stropowi. Zawartość węgla wapnia średnio wynosi 0,07%. Zdecydowana większość krzywych





Rys. 5. Przekrój geologiczny stożka akumulacyjnego w dolinie rzeki Serteyki

1 – piaski i mułki fluwioglacjalne; 2 – gytia grubodetrystusowa; 3 – mułek organiczny; 4 – zmurszały torf; 5 – proluwia dna parowu (piaski różnoziarniste z przewagą piasków drobnoziarnistych); 6 – proluwia (piaski różnoziarniste i żwiry); 7 – deluwia dolne (piaski drobnoziarniste pylaste); 8 – osady pozakorytowe (piaski drobnoziarniste z mułkiem organicznym); 9 – torf słabo zapiaszczony; 10 – deluwia środkowe (piaski drobno- i różnoziarniste jasnobrunatne); 11 – deluwia górne (piaski drobno- i średnioziarniste); 12 – diamikton rolny (piaski różnoziarniste próchniczne); 13 – współczesny poziom próchniczny; 14 – bruk erozyjny; 15 – odkrywka I i II; 16 – numery wierceń; 17 – miejsce poboru próbek do datowań radiowęglowych

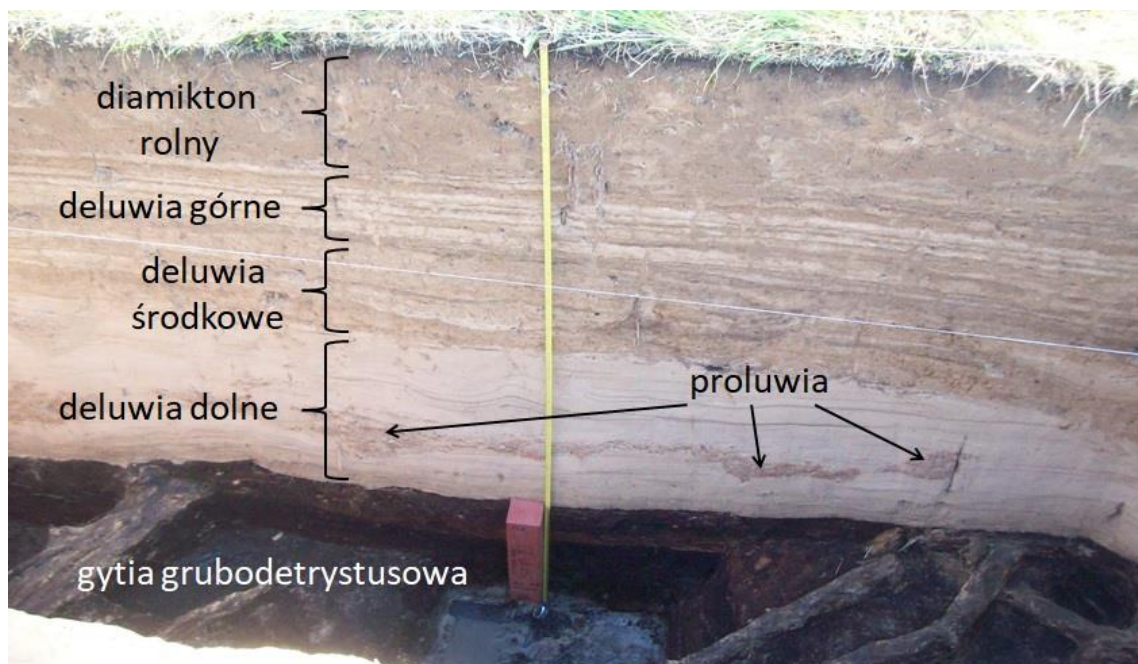
Geological cross-section of the accumulative fan in the Serteyka River valley

1 – fluvioglacial sands and silt; 2 – coarse detritus gytija; 3 – organic mud; 4 – peat mucked; 5 – proluvium of gully bottom (various-grained sands with predominance of fine sands); 6 – proluvium (various-grained sands and gravels); 7 – lower deluvium (fine-grained sands), 8 – overbank deposits (fine sands with organic mud); 9 – peat poorly sandy; 10 – central deluvium (fine- and various-grained sand); 11 – upper deluvium (fine- and medium-grain sand), 12 – tillage diamicton (humus-rich sand), 13 – contemporary humic horizon; 14 – gravel lag; 15 – outcrops I and II; 16 – drilling numbers; 17 – location of sample collection for radiocarbon dating

Tabela 1

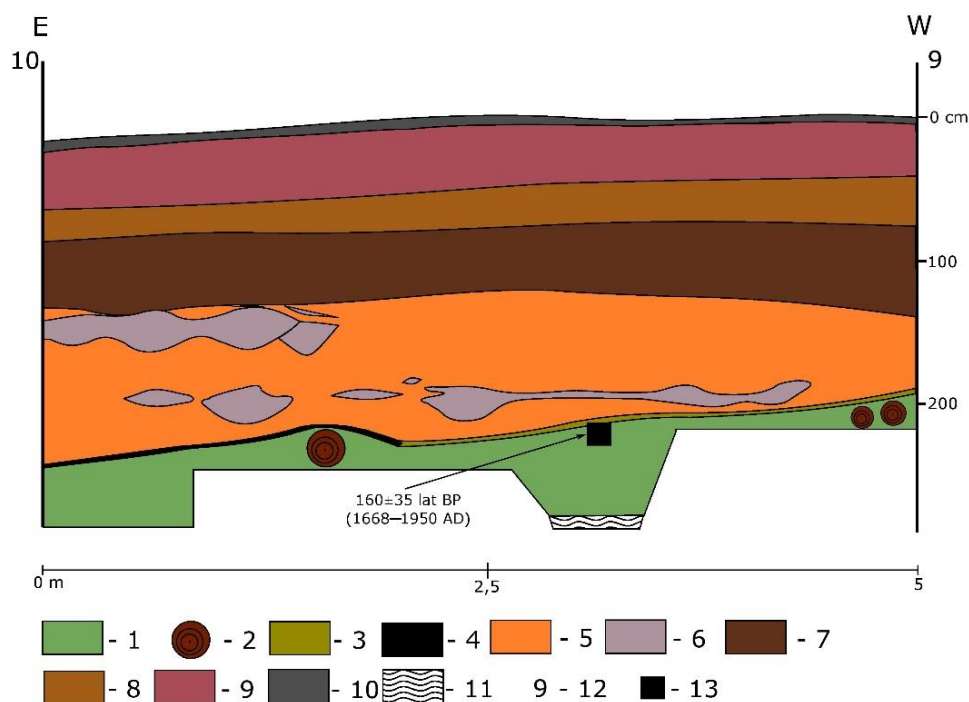
Cechy strukturalne osadów stożka akumulacyjnego (odkrywka I)  
Structural features of an accumulative fan sediment (outcrop I)

Głębokość [cm] Depth [cm]	Cechy strukturalne Structural features	CaCO <sub>3</sub> [%]	Typy osadów Sediment types
5–40	– brunatny piasek drobno- i średnioziarnisty próchniczny – materiał bezstrukturalny, zagęszczony	nie badano	diamikton rolny
40–66	– jasnobrunatnożółte lub jasnobrunatne piaski drobno- i średnioziarniste – płaskie warstwowanie subhoryzontalnie	0,05–0,07	deluwia górne
66–103	– brunatne piaski drobno- i różnoziarniste; – występują zoofakty	0,04–0,14	deluwia środkowe
103–190	– jasnożółte piaski drobnoziarniste pylaste – występują węgle drzewne, – słabo wykształcona laminacja osadów	0–0,09 (deluwia) 0–0,14 (proluwia)	deluwia dolne z wkładkami proluwiów
20–630	– jasnobrunatnożółte i brunatne piaski mułkowe i mułki – miejscami warstwowanie przekątne	nie badano	materiał źródłowy



fot. W. Piech, 2017

Fot. 1. Ściana odkrywki I w strefie centralnej stożka  
The wall of outcrop I in the central zone of the fan

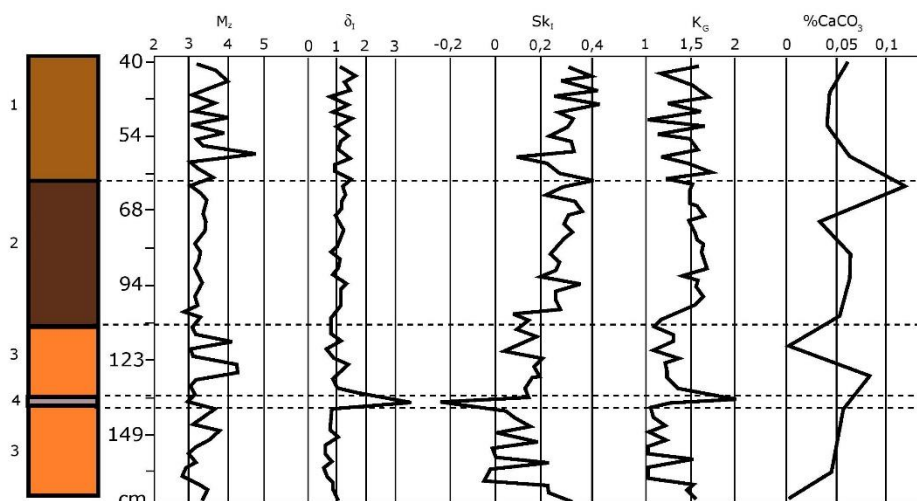


Rys. 6. Ściana odkrywki I w strefie centralnej stożka

1 – gytia grubodetrystusowa; 2 – drewno; 3 – zmurszały torf; 4 – mułek organiczny; 5 – deluwia dolne; 6 – proluwia; 7 – deluwia środkowe; 8 – deluwia górne; 9 – diamikton rolny; 10 – współczesny poziom próchniczny; 11 – poziom wody; 12 – numer wiercenia; 13 – miejsce poboru próbki na datowanie radiowęglowe

Wall of outcrop I in the central zone of the fan

1 – coarse detritus gyttja; 2 – wood; 3 – mucked peat; 4 – organic mud; 5 – lower deluvium; 6 – proluvium; 7 – central deluvium; 8 – upper deluvium; 9 – tillage diamict; 10 – contemporary humic horizon; 11 – water level; 12 – drill number; 13 – location of sample collection for radiocarbon dating



Rys. 7. Wskaźniki sedimentologiczne osadów mineralnych stożka akumulacyjnego w strefie centralnej (odkrywka I)

1 – deluwia górne; 2 – deluwia środkowe; 3 – deluwia dolne; 4 – proluwia

$M_z$  – średnia średnica ziaren;  $\delta_I$  – wysortowanie;  $Sk_I$  – skośność;  $K_G$  – kurtoza;  $\%CaCO_3$  – procentowa zawartość węglańca wapnia

Sedimentological indicators of mineral sediments in the accumulative fan in the central zone (outcrop I)

1 – upper deluvium; 2 – central deluvium; 3 – lower deluvium; 4 – proluvium

$M_z$  – mean grain size;  $\delta_I$  – sorting index;  $Sk_I$  – skewness;  $K_G$  – kurtosis;  $\%CaCO_3$  – percentage content of calcium carbonate

Tabela 2

Wskaźniki sedimentologiczne poszczególnych typów osadów

Sedimentological indicators of individual sediment types

	$M_z$	$\delta_I$	$Sk_I$	$K_G$
deluwia górne <i>upper deluvium</i>	3,0–4,8	0,8–1,6	0,14–0,43	1,0–1,7
deluwia środkowe <i>central deluvium</i>	2,9–3,5	0,8–1,3	0,14–0,38	1,3–1,6
proluwia <i>proluvium</i>	0,8–2,7	1,4–2,3	-0,5–(-0,04)	0,5–2,2
deluwia dolne <i>lower deluvium</i>	2,9–4,3	0,6–1,5	0,04–0,3	1,0–1,5
materiał źródłowy <i>source material</i>	3,8–5,6	0,5–1,6	0,01–0,6	0,9–2,1

częstości rozkładu uziarnienia jest unimodalna, z przewagą ziaren o wielkości 3–4 phi (podobnie jak w deluwiach górnych i deluwiach środkowych). Różnica częstości w tej modzie wynosi zaledwie 3% i kształtuje się na poziomie 14–17%. Podobnie jak w deluwiach górnych i środkowych widoczne jest niewielkie zwiększenie udziału frakcji o wielkości ziaren 6–7 phi (rys. 8).

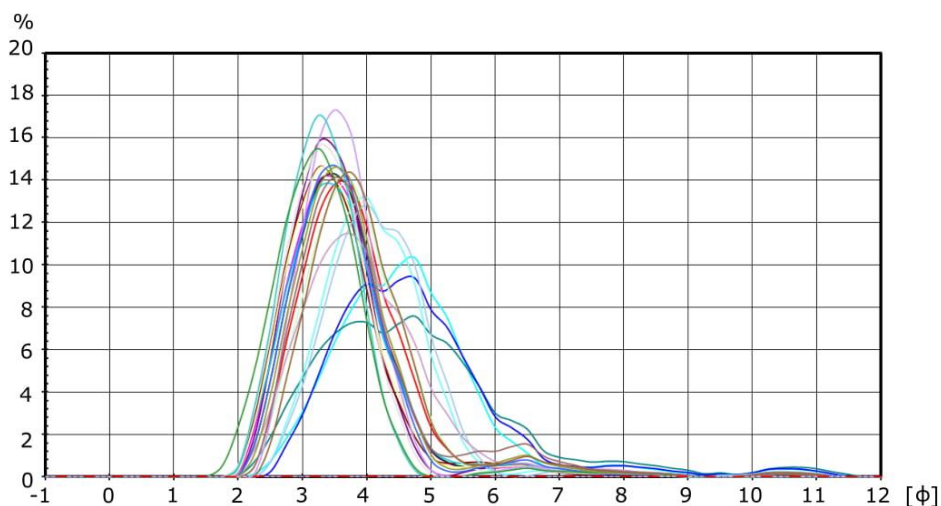
Proluwia stanowią wkładki wypełniające niewielkie rozcięcia erozyjne w obrębie deluwiów dolnych. Budują je piaski różnoziarniste, z domieszką żwirów i toczenców gliniastych o średnicach dochodzących nawet do 3 cm. W całej serii

deluwiów dolnych występują dwa horyzonty rozcięć wypełnionych proluwiami (rys. 5, 6). Pierwszy znajduje się na głębokości około 170 cm i równocześnie 20 cm nad stropem gytii podścielającej osady stożka. Drugi znajduje się około 150 cm pod powierzchnią terenu, bezpośrednio pod serią deluwiów środkowych. W tym horyzoncie występują włożenia proluwiów o największej miąższości. Niektóre z nich wypełnione są głównie gliniastymi toczencami. Osady proluwiów są bardzo słabo lub słabo wysortowane ( $\delta_I = 1,4–2,3$ ), z przewagą materiału o frakcji grubszej. Proluwia mają bardzo ujemny lub ujemny rozkład skoś-

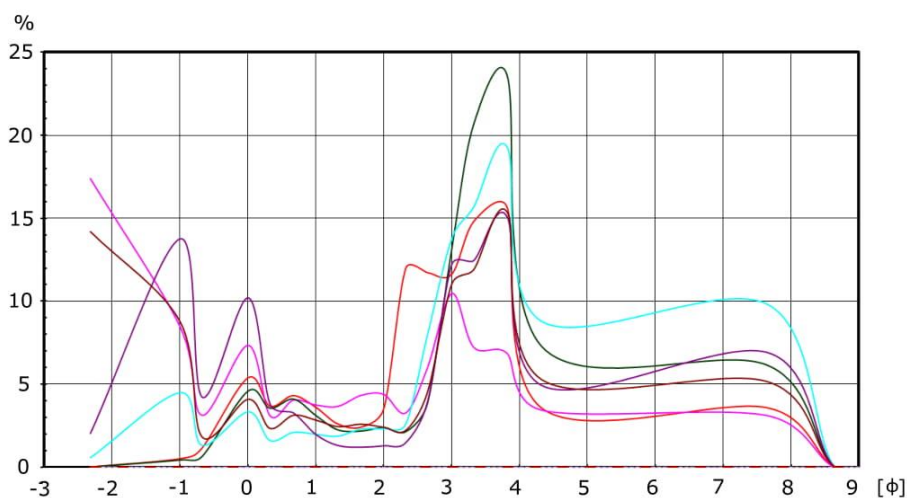
ności, przy wartościach kurtozy zawierających się w przedziale 0,5–2,2 (tab. 2). Osady te są odwapnione, a zawartość węgla wapnia wynosi od 0% do 0,14%. Największe częstotliwości rozkładu uziarnienia mają ziarna o wielkości 3–4 phi (od 10% do prawie 25%) (rys. 9). Dla tych osadów zaznacza się wzrost udziału ziaren o wielkości 0 phi o kilka procent, podobnie jak w przypadku ziaren o wielkości od 5 do 8 phi. Ciekawym faktem jest, iż nie ma ziaren drobniejszych niż 8,5 phi. Niski jest udział ziaren 0,5–2,5 phi (na poziomie kilku procent) (rys. 9).

Deluwia środkowe są osadami o jasnobrunatnej barwie, których strop jest ścięty erozyjnie. Są to osady różnoziarniste z dużym udziałem frakcji drobnej. Osad ten charakteryzuje się brakiem

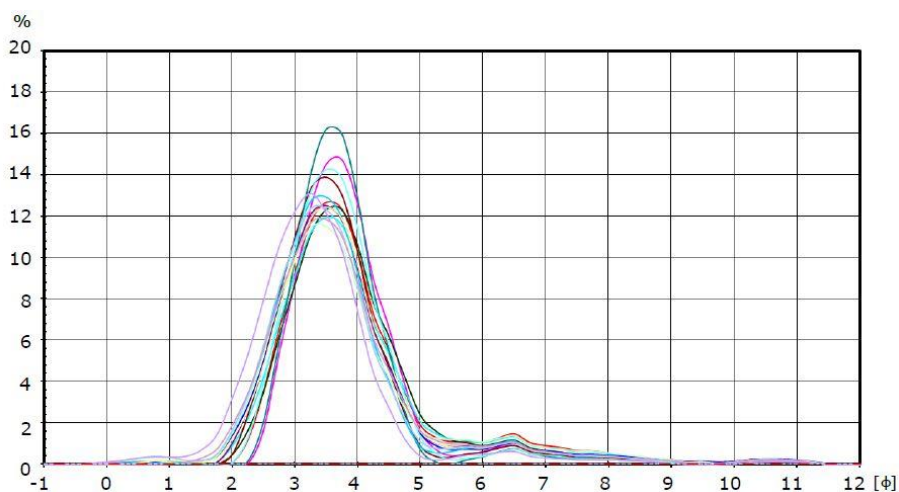
rytmiczności w zmianach wartości wskaźników uziarnienia, co daje efekt względnego wypłaszczenia odnośnych wykresów (seria 2 na rys. 7). Dominują ziarna o wielkości około 3,3 phi. Średnia średnica ziaren wynosi od 2,9 do 3,5 phi, wy-sortowanie mieści się w przedziale 0,8–1,3, zaś skośność od 0,14 do 0,38 (rys. 7; tab. 2). Zawartość węgla wapnia jest na poziomie około 0,06%. W osadach deluwiiw środkowych prze-waża udział ziaren o wielkości 3–4 phi (12–16%). Druga moda zaznacza się w przedziale wielkości ziaren 6–7 phi. Różnice pomiędzy poszczególnymi krzywymi zebranymi z całej miąższości warstwy są niewielkie (do 4% częstości w modzie pierwszej), zaś przebieg krzywych jest bardzo podobny względem siebie (rys. 10).



Rys. 8. Krzywe częstości rozkładu uziarnienia deluwiiw dolnych (odkrywka I)  
The grain size distribution frequency curve of the lower deluvium (outcrop I)



Rys. 9. Krzywa częstości rozkładu uziarnienia proluwiiw (odkrywka I)  
The grain size distribution frequency curve of the proluvium (outcrop I)



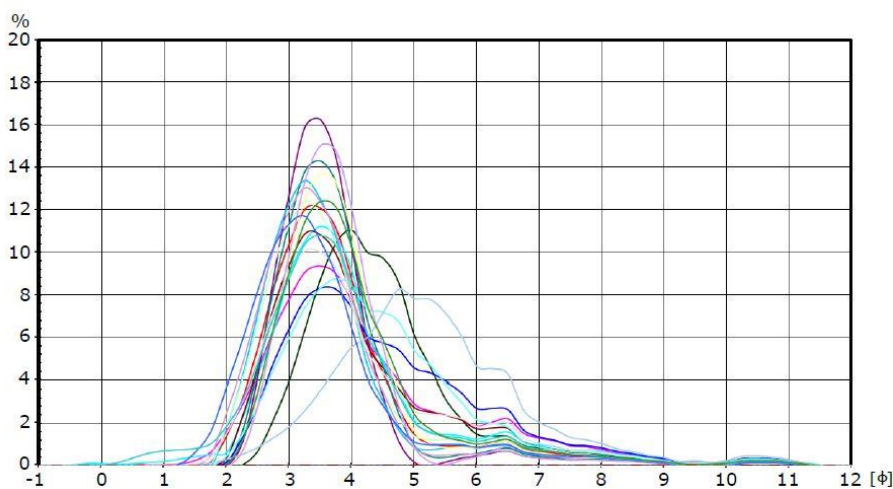
Rys. 10. Krzywa częstości rozkładu uziarnienia deluwiów środkowych (odkrywka I)

The grain size distribution frequency curve of the central deluvium (outcrop I)

Deluwia górne charakteryzują się rytmicznością występowania na przemian lamin jasnobrunatnożółtych oraz brunatnych, o miąższości od 1 do 3 cm. Cechują się one płaskim warstwowaniem subhoryzontalnym. Analizując wartości wskaźników sedimentologicznych, można również zaobserwować rytmiczność zmian wartości, zwłaszcza biorąc pod uwagę średnią średnicę ziaren mieszczącą się w przedziale od 3 do 4,8 phi (seria 1 na rys. 7). Dla części lamin wskaźnik ten skupia się wokół wartości 3 phi, dla innych – około 4 phi. Osady deluwiów górnych są słabo lub umiarkowanie wysortowane (0,8–1,6), o bardzo dodatnio lub dodatnio skośnym rozkładzie, przy wartościach kurtozy 1,0–1,7 (rys. 7; tab. 2). Zawartość procentowa węgla wapnia jest niewielka i wynosi średnio 0,06%. Analizując krzywą częstości uziarnienia deluwiów górnych (rys. 11), zauważalne jest, że w badanej warstwie

znajduje się najwięcej ziaren o wielkości 3–4 phi (od 8 do 16%). Większość krzywych jest unimodalna, pojedyncze krzywe są bimodalne (rys. 11). Druga, mniejsza moda, zarysowuje się w przedziale ziaren 6–7 phi (do 4%), co świadczy o wzbogacaniu osadu w materiał pylasty. Zauważalna jest dość duża rozbieżność w krzywych uziarnienia dla poszczególnych lamin w obrębie deluwiów górnych, zwłaszcza w modzie pierwszej, gdzie różnica częstości wynosi nawet 8%. W drugiej modzie różnica wynosi około 3% (rys. 11).

Diamikton rolny reprezentują piaski drobno- i średnioziarniste próchniczne o barwie brunatnej. Osady są zagęszczone i bezstrukturalne, występują tu licznie korzenie współczesnych roślin. Jest to materiał silnie przemieszany przez orkę, która obejmowała najprawdopodobniej osady deluwiów górnych.



Rys. 11. Krzywa częstości rozkładu uziarnienia deluwiów górnych (odkrywka I)

The grain size distribution frequency curve of the upper deluvium (outcrop I)

Na rozkładach wskaźników sedymentologicznych badanych osadów w profilu pionowym (rys. 7) można zauważyć, iż od głębokości około 140 cm zwiększają się wartości skośności, co świadczy o zwiększaniu się przewagi frakcji drobniejszych w stosunku do frakcji o największej częstotliwości.

Materiałem źródłowym osadów budujących badany stożek akumulacyjny są utwory wodnolodowcowe powstałe podczas ostatniego zlodowacenia (fot. 2). Budują one powierzchnię terenu w otoczeniu rozcięcia erozyjnego. Osady badane były w odkrywcze założonej na stoku parowu i w jego dnie. Od powierzchni do 20 cm występuje poziom orno-próchniczny (fot. 2). Do głębokości 184 cm zalegają jasnobrunatne piaski mułkowe o średniej średnicy ziaren od 3,2 do 4,0 phi. Wyszortowanie mieści się w przedziale 0,6–1,5, a skośność wynosi od 0,03 do 0,6. W tej warstwie zauważalne są rdzawe laminy piasku drobnoziarnistego o miąższości do 0,5 cm. Na głębokości od 137 do 184 cm występuje warstwowanie przekątne rynnowe. Od 184 cm do 411 cm zalegają na przemian piaski drobnoziarniste pylaste i piaski mułkowe ( $M_z = 3,05\text{--}4,2$ ;  $\delta_1 = 0,5\text{--}1,6$ ;  $Sk_1 = 0,01\text{--}0,6$ ). Na głębokości od 417 cm do 456 cm notowane są brunatne mułki piaszczyste o średniej średnicy ziaren od 4,6 do 5,6 phi, wysortowaniu od 0,9 do 1,6 i skośności od 0,1 do 0,5. Od 456 do 630 cm występują jasnobrunatne piaski mułkowe o słabo widocznych warstwowaniach horyzontalnych i o średniej średnicy ziaren od 3,4 do 4,4 phi, wysortowaniu od 0,5 do 1,3 oraz skośności od 0,08 do 0,6. Analiza krzywych częstości materiału źródłowego wskazuje na najczęstsze występowanie (do 20%) ziaren o wielkościach 3–4 phi. Widoczna jest także druga moda w wielkościach ziaren w przedziale 6–7 phi oraz niewielki wzrost udziału ziaren o wielkości 10–11 phi. Kilka próbek odznacza się największą zawartością ziaren o wielkościach 4–5 phi (rys. 12).

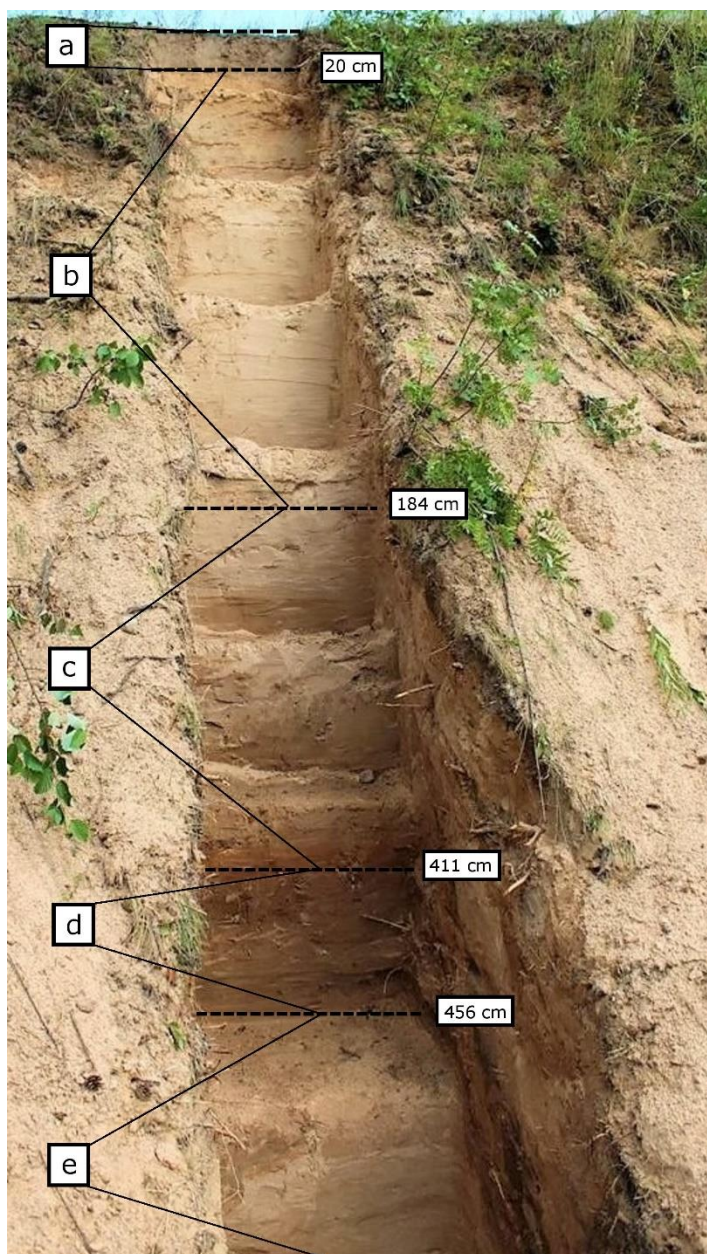
## Interpretacja

Analizując skumulowany rozkład uziarnienia metodą Visher (1969), można stwierdzić, iż dla deluwii dolnych zaznacza się podział na dwie populacje próbek (seria 1, rys. 13). Saltacja była głównym procesem transportującym (od 84% do 96%) ziarna o wielkości od 1,5 do 4,5 phi. Drugim typem transportu była suspensja (od 4% do 16%) przy wielkości ziaren jednej populacji od 4,5 do 11,5 phi, a drugiej od 4,5 do 9 phi. Deluwia środkowa (seria 2, rys. 13) odznacza się niewielkim udziałem toczenia (do 5%) w transporcie ziaren o wielkości od

-5 phi (jedna próbka) do 1 phi. W pojedynczych warstwach udział toczenia był marginalny. Dominował proces saltacji (od 80% do 94%), przy wielkości ziaren od 4,5 do 11 phi. Przy czym występują tutaj dwie subpopulacje – jedna powiązana z saltacją w przesłonie trakcyjnej (ziarna grubsze) i druga z saltacją w chwilowym zawieszeniu (ziarna drobniejsze) (Visher 1969, por. też Szmańda 2011). W deluwii górnych (seria 3, rys. 13) występuje jedna populacja osadów, w której przeważa saltacja (od 82% do 95%), przy wielkości ziaren od 1 do 4,5 phi. Suspensja w tym przypadku zaznacza się od 5% do 18%, przy wielkości ziaren od 4,5 do 11,5 phi. Toczenie występuje w pojedynczych warstwach, gdzie udział tego procesu waha się od 0% do 1%, przy wielkości ziaren od -0,5 do 1,5 phi. W proluwii dominującym procesem transportującym ziarna jest toczenie (od 16% do 73%). Na drugim miejscu jest saltacja (od 18% do 68%), przy udziale ziaren od 2 do 3,5 phi. Udział suspensji wynosi od 6% do 16%, przy wielkości ziaren od 3,5 do 8 phi. W materiale źródłowym (seria 5, rys. 13) można wyróżnić dwie populacje osadów – jedna związana z saltacją i druga z suspensją. Saltacja była przeważającym procesem (od 75% do nawet 99%) transportu ziaren o wielkości od 1,5 do maksymalnie 4,5 phi. Udział suspensji wynosił zaś dla jednej populacji od 1% do 5%, przy wielkościach ziaren od 4 do 8,5 phi, dla drugiej od 5% do 25%, przy wielkościach ziaren od 4,5 phi do 11 phi.

Analizując powyższe krzywe kumulacyjne, można stwierdzić, że saltacja była głównym procesem transportującym ziarna zarówno podczas akumulacji materiału źródłowego jak i osadów stokowych. Drugim zaznaczającym się typem transportu była suspensja. Udział wleczenia był marginalny i zauważalny tylko w przypadku deluwii środkowych i deluwii górnych. Przy dominującym transporcie saltacyjnym deluwii budujących stożek, należy podkreślić, że osady źródłowe zapewniały obfitość odpowiedniego materiału. W przypadku proluwii toczenie i wleczenie przeważało w transporcie ziaren, duży był także udział suspensji, z kolei saltacja odgrywała mniejszą rolę (rys. 13).

Na wykresach zależności wskaźników sedymentologicznych rozpoznano układ II wg Mycielskiej-Dowgiałło (1995), w którym wraz ze zwiększeniem średniej średnicy ziarna wzrasta również stopień ich wysortowania. To kryterium najlepiej spełniają deluwia dolne i górne (rys. 14). Dla deluwii środkowych układ II jest słabo zauważalny. Proluwii odpowiada układ I, czyli wraz ze wzrostem średniej średnicy ziaren maleje stopień wysortowania (rys. 14).



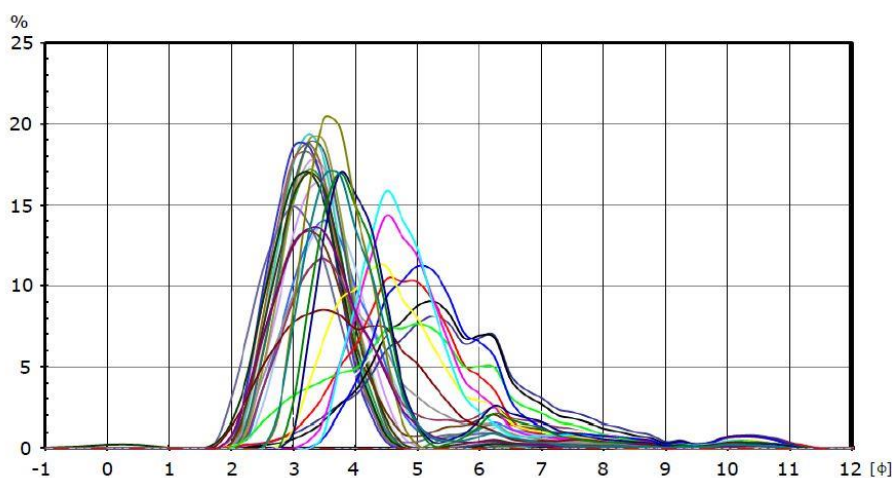
Fot. 2. Odślonienie zlokalizowany w ścianie rozcięcia erozyjnego

1 – poziom próchniczny; 2 – piaski mułkowe; 3 – piaski drobnoziarniste pylaste i piaski mułkowe; 4 – mułki piaszczyste; 5 – piaski mułkowe słabo warstwowane

Exposure located in the wall of the erosive cut

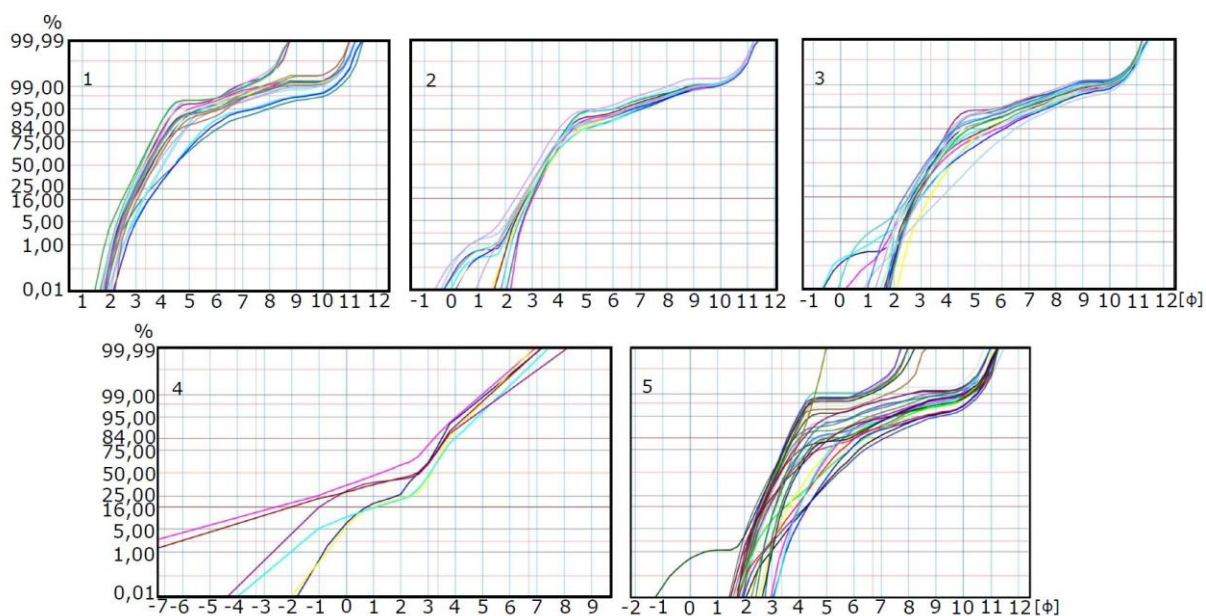
1 – humic horizon; 2 – silty sands; 3 – fine sands and silty sands; 4 – sandy silt; 5 – silty sands poorly stratified

fol. A. Mroczkowska, 2017



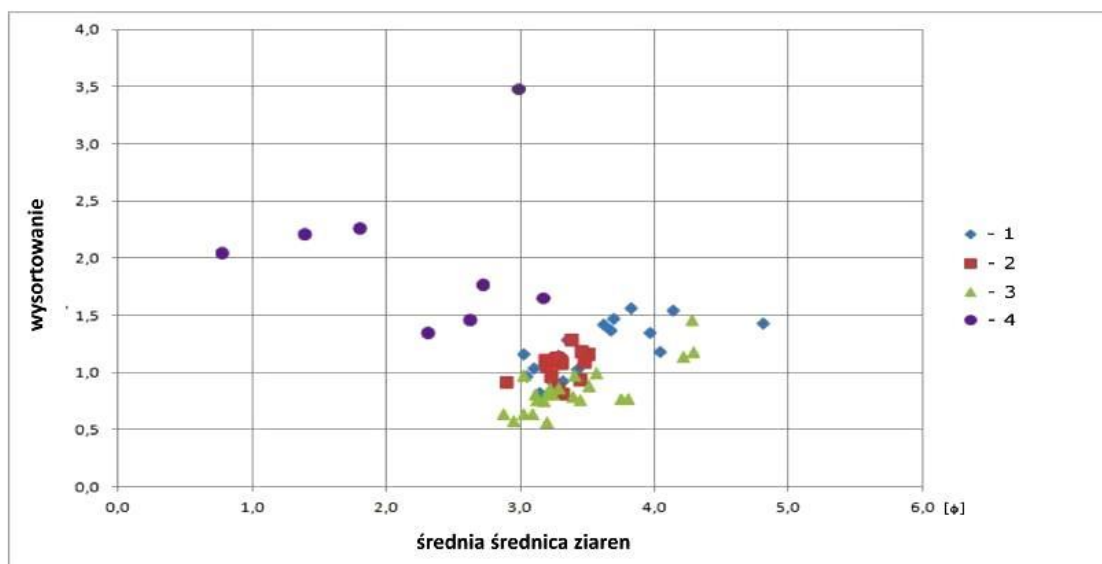
Rys. 12. Krzywe częstości uziarnienia materiału źródłowego (odślonienie)

The grain size distribution frequency curve of the source material (exposure)



Rys. 13. Krzywe kumulacyjne rozkładu uziarnienia osadów stożka akumulacyjnego i materiału źródłowego odkrywka I: 1 – deluwia dolne, 2 – deluwia środkowe, 3 – deluwia górne, 4 – proluwia; odsłonięcie: 5 – materiał źródłowy

The grain sizes cumulative curves of the accumulative fan sediments and source material excavation I: 1 – lower deluvium, 2 – central deluvium, 3 – upper deluvium, 4 – proluvium; exposure: 5 – source material



Rys. 14. Wykres zależności pomiędzy średnią średnicą ziarna a wysortowaniem dla osadów stożka akumulacyjnego

1 – deluwia górne; 2 – deluwia środkowe; 3 – deluwia dolne; 4 – proluwia

Relationship diagram between mean sizes of grains and sorting index of the accumulative fan deposits

1 – upper deluvium; 2 – central deluvium; 3 – lower deluvium; 4 – proluvium



## Dyskusja

### Warunki depozycji stożka akumulacyjnego

Deluwia dolne zbudowane są z jasnobrunatnego piasku drobnoziarnistego z pyłem. Taka tekstura świadczy najprawdopodobniej o słabym splukiwaniu rozproszonym odpowiedzialnym za akumulację tej serii. W obrębie tej warstwy występują jednak wąskie i dość głębokie rozcięcia (do 40 cm) wypełnione materiałem różnoziarnistym oraz rozcięcia płytkie (do 10 cm) wypełnione proluwiami. Wskazuje to na okresowe rozcinanie powierzchni stożka przez skoncentrowane spływy powierzchniowe odpowiedzialne za splukiwanie liniowe. Zauważalne jest, że wartości skośności w spągowej części deluwii dolnych przesuwają się ku wartościom niższym, zatem udział ziaren frakcji grubszych wzrastał (do głębokości około 140 cm). Znamienne jest, iż rozcięcia występują tylko w obrębie serii deluwii dolnych. Zwiększająca się ilość węgla w deluwii dolnych może świadczyć o narastającym wpływie przekształceń antropogenicznych (m.in. deforestacja obszaru) i zazębieniu antropopresji oraz czynnika klimatycznego.

W proluwiiach wypełniających rozcięcia w serii deluwii nie występują ziarna drobniejsze niż 8,5 phi. Najprawdopodobniej zostały one przetransportowane w strefę dystalną stożka i zostały włączone w system fluwialny Sertejki. Duży jest za to udział ziaren grubych i żwiru oraz toczenców gliniastych, co dowodzi silnych spływów skoncentrowanych. Badane proluwia wpisują się w zestawienie cech litologicznych osadów tego typu opisanych przez Twardego (2017), ze średnią średnicą powyżej 1 phi, wysortowaniem od 1 do 6, ujemną skośnością czy zawartością procentową węgla wapnia bliską zeru, przy czym proluwia z doliny Sertejki charakteryzuje względnie dobre wysortowanie.

Niewielkie zakresy wartości wskaźników uziarnienia deluwii środkowych mogą świadczyć o stabilnych warunkach akumulacyjnych. Seria ta charakteryzuje się brunatnym kolorem, co wskazuje na stosunkowo duży udział próchnicy, która była najprawdopodobniej splukiwana z wyżej położonych, użytkowanych rolniczo gleb. Warstwa ta była przekształcana przez zwierzęta, o czym świadczą odnotowane zoofakty. Seria ta cechuje się słabo zachowanym warstwowaniem, a miejscami strukturą masywną. Prawdopodobnie jest to efekt działania procesów pedogenetycznych, w tym

działalności pedofauny, które prowadziły do szybkiego zacierania pierwotnego warstwowania.

Udokumentowana rytmiczność cech strukturalnych i wskaźników sedimentologicznych deluwii górnych związana jest z różną zawartością domieszek organicznych oraz zmiennymi warunkami akumulacyjnymi. Być może wynika z sezonowej zmienności tempa akumulacji osadów. Taką zależność zauważa Twardy (2003) w badaniach osadów deluwii antropogenicznych z Brzezin k/Łodzi.

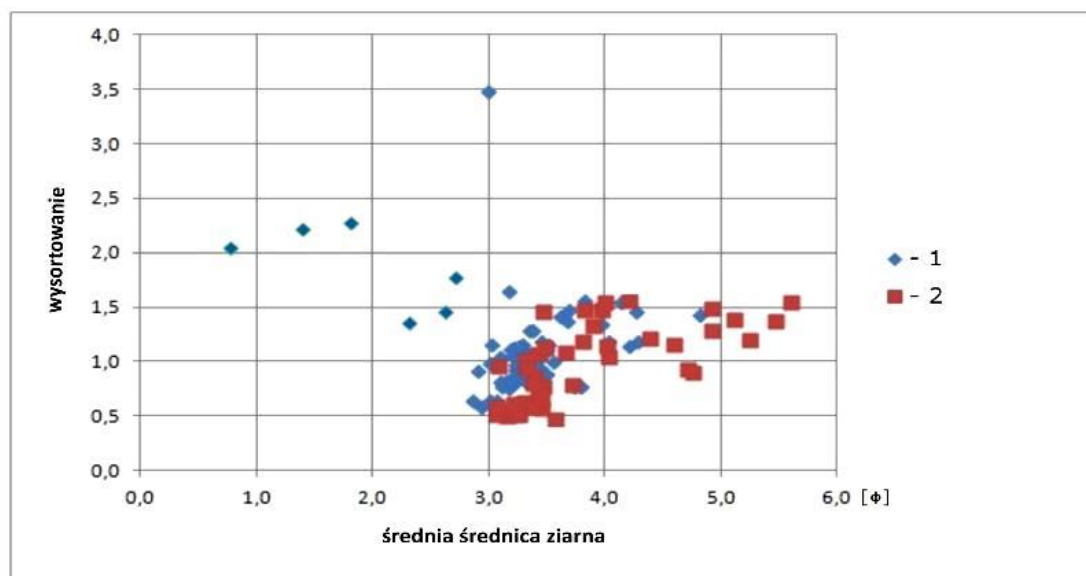
Diamikton rolny rozwinięty w stropowej części osadów stożka akumulacyjnego ma masywną strukturę, ciemnobrunatny kolor, co najprawdopodobniej związane jest z wysoką zawartością próchnicy. Dolna granica tej warstwy jest bardzo dobrze widoczna, co wskazuje na długotrwałą orkę i wykształcenie się tzw. podeszwy płużnej. Podobnymi cechami strukturalnymi odznaczają się diamiktony rolne z centralnej Polski, ponadto są one słabo wysortowane, próchniczne i bezwęglanowe (Twardy 2008; Twardy i in. 2014).

Deluwia dolne i górne akumulowane były w wyniku splukiwania rozproszonego, na co wskazuje rozpoznany układ II stosunku odpowiednich wskaźników sedimentologicznych wg Mycielskiej-Dowgiałło (1995). Układ ten uważany jest za typowy dla osadów deluwialnych (m.in. Smolska 2003, 2005; Twardy 2003, 2008; Kittel 2016; Majewski 2017). Choć stwierdzany jest również w facji pozakorytowej osadów fluwialnych (por. Mycielska-Dowgiałło 1995; Mycielska-Dowgiałło, Ludwikowska-Kędzia 2011; Szymańska 2011). Wpływ na powstanie deluwii środkowych miało, oprócz splukiwania rozproszonego, zapewne również przemieszczanie ziaren w wyniku rozbryzgu (por. Mycielska-Dowgiałło, Ludwikowska-Kędzia 2011). Warunki akumulacyjne proluwii są najbardziej podobne do warunków akumulacyjnych dla osadów fluwialnych facji korytowej (układ I) (por. Mycielska-Dowgiałło 1995; Mycielska-Dowgiałło, Ludwikowska-Kędzia 2011; Szymańska 2011).

Podczas transportu i akumulacji nie doszło do wyraźnego pogorszenia się wysortowania osadów mineralnych stożka, tj. deluwii dolnych, środkowych i górnych w stosunku do materiału źródłowego (tab. 1) (por. Smolska 2005; Majewski 2017). Wyjątkiem są proluwia, których wysortowanie dość znacznie się pogorszyło (tab. 1). Udział ziaren grubszych jest tu nieco większy niż w materiale źródłowym przy podobnych wartościach wysortowania (rys. 15). Sugeruje to zaistnienie selektywnego przemieszczania materiału w dół stożka podczas spływu powierzchniowego i/lub nacinanie przez erozję warstw o większym udziale grubszych ziaren. Deluwia mają mniejsze zakresy

wartości skośności niż osady źródłowe (por. Majewski 2017). W wyniku splukiwania rozproszonego podczas intensywnych opadów dochodzi

bowiem często do selektywnego wzbogacania osadu w drobne frakcje (Smolska 2003, 2005; Twardy 2003).



Rys. 15. Wykres zależności pomiędzy średnią średnicą ziarna a wysortowaniem dla osadów stożka akumulacyjnego i materiału źródłowego

1 – osady stożka; 2 – materiał źródłowy

Relationship diagram between mean sizes of grains and sorting index of the accumulative fan deposits and source material

1 – fan deposits; 2 – source material

Serie deluwiów dolnych, środkowych i górnych wpisują się w podział litologiczny osadów stokowych zaproponowany przez Twardego (2008, 2017). Analizowane osady odpowiadają zarówno cechom piasków deluwialnych, jak i deluwialnych pyłów piaszczystych. Wartości średniej średnicy ziaren z facji deluwialnych pyłów piaszczystych mieszczą się w przedziale 3–5 phi. Pozostałe cechy, czyli wysortowanie ( $\delta_1 = 0,5-2$ ), wzrost skośności wraz z drobnieniem ziarna i warstwowania horyzontalne, czy silne odwapnienie wskazują na fację piasków deluwialnych.

Szczególne uwagę należy zwrócić na wartości odchylenia standardowego uzyskane dla badanych deluwiów sertejskich. Wskazują one na słabe wysortowanie, będące cechą typową dla deluwiów (por. Twardy 1995, 2000, 2003; Smolska 2005), które jest skutkiem krótkiego transportu ziaren oraz zmiennej intensywności siły transportującej. W przypadku deluwiów wahania hydrologicznych parametrów odpływu w ośrodku transportującym wynikają z drenowania małych, lecz licznych zbiorników wodnych (kałuż) na stokach. Na powierzchni stożka następowało wielokierun-

kowe rozmywanie materiału przez wody roztopowe i opadowe.

Cechy teksturalne analizowanych pokryw deluwialnych są uwarunkowane teksturą osadów źródłowych, co było podkreślane m.in. w pracach Smolskiej (2005) i Pietrzak (2002).

Osady deluwialne powstają w wyniku działalności procesów stokowych, głównie splukiwania. W centralnej Polsce tworzą je najczęściej piaski drobne i bardzo drobne posiadające domieszkę organiczną i rozproszone węgle. Deluwia akumulowane są w dynamicznym środowisku, ale są także efektem umiarkowanie intensywnego splukiwania rozproszonego (Twardy 2008; Kittel 2014). Zauważalne jest, iż w wielu przypadkach osady stokowe są wzbogacone w próchnicę. Najprawdopodobniej dostawała się ona tam w efekcie erodowania poziomego próchnicznego gleb podczas wzmożonego splukiwania i postępującej denudacji obszarów przyległych (por. Kittel 2014). Poszczególne fazy transformacji stoków i tworzenia pokryw deluwialnych na stanowiskach Bechcice, Wierzbowa i Lutomiersk-Koziówki nawiązywały

do etapów intensywnego zasiedlania tych terenów przez ludność pradziejową (Kittel 2014).

Istotnym czynnikiem inicjującym rozwój procesów stokowych skutkujących akumulacją deluwii jest deforestacja wynikająca przede wszystkim z antropopresji (por. Stochlak 1996) i/lub w mniejszym stopniu z przyczyn naturalnych (naturalne pożary lasów). Cechy deluwii mogą świadczyć o chronologii i intensywności osadnictwa, a nawet o kierunkach i sile antropopresji (Smolska 2003; Kittel 2014).

### Fazy rozwoju stożka akumulacyjnego

Akumulację osadów stokowych budujących badaną formę wyznacza uzyskany wiek radiowęglowy osadów biogenicznych podścielających serie mineralne stożka i wydatowanych najwcześniej na II poł. XVII w. (tj. 1668–1950 AD i 1667–1950 AD). Dolna seria stożka (deluwia dolne) powstała podczas I fazy rozwoju, która rozpoczęła się nie wcześniej niż w II poł. XVII w. i trwała do około XVIII w. Potwierdza to również fragment nowożytnego szkła, datowanego na XVII–XVIII w., odkrytego w spągu osadów wypełniających parów w jego środkowym odcinku.

Początek rozwoju parowów i stożka akumulacyjnego w dolinie Sertejki jest związany najprawdopodobniej ze zmianami klimatycznymi, które nastąpiły podczas *pessimum* Małej Epoki Lodowej (MEL), być może w trakcie minimum Maundera. Badania dowodzą, iż częste występowanie ulewnych deszczy było mechanizmem inicjującym erozję wąwozową (Panin i in. 2009; Zgłobicki i in. 2014). W tym okresie średnia roczna temperatura spadła o około 1°C, zaś zimy były coraz dłuższe. Duży udział w transformacji stoków mogły mieć wówczas intensywne wiosenne roztopy. W Europie czas od połowy XVII do połowy XVIII wieku był okresem o zwiększonej sumie opadów (Jones, Mann 2004; Marks 2016). Duża miąższość serii deluwii dolnych (nawet do 1 m) dowodzi znacznej denudacji zboczy i/lub długotrwałości tych procesów. Jednocześnie proluwia w dnie parowu zalegają się z deluwiami dolnymi stożka, co dowodzi szybkiego uformowania głęboko wciętej formy erozyjnej i zapełniania jej dna osadami już na wczesnym etapie jej rozwoju. Trzeba również zwrócić uwagę, że dno parowu w środkowym odcinku ma wyraźnie wciśnięty profil, co dowodzi, że forma ta nie funkcjonowała jako rozcięcie drogowe.

Zainicjowanie erozji najprawdopodobniej związane było z silną deforestacją terenu wskutek antropopresji. Golosov (2002) i Golosov i in.

(2017) opisują intensywną erozję gleb na Niżu Środkoworosyjskim od XVII wieku po czasy obecne, zapoczątkowaną przez wzmożoną działalność rolniczą, co mogło być przyczyną rozwoju pokryw stokowych oraz erozji wąwozowej. Na tym samym obszarze osady organiczne w obrębie niektórych parowów datowane są na 220±100 lat BP oraz 430±100 lat BP (Belyaev i in. 2005). Wylesianie zmniejszało możliwości retencyjne obszaru, czego następstwem był wzmożony wpływ powierzchniowy i erozja stoków. Wskazują na to liczne węgle drzewne notowane w obrębie deluwii dolnych oraz liczne szczątki drzew w stropie gytii, co nadaje im cechy tzw. deluwii deforestacyjnych wg Stochlaka (1996). Być może procesy te należy wiązać z początkami przemysłu drzewnego w rejonie Wieliża w I poł. XVIII w. Zmiany klimatyczne (m.in. zwiększona liczba ulewnych deszczy) potęgowały cały proces. Na miąższość osadów stożka mogły mieć wpływ także cechy strukturalne materiału źródłowego, w tym przypadku podatnych na erozję piasków wodnolodowcowych.

Młodsze fazy rozwoju wąwozów na obszarze Wyżyny Lubelskiej wiązane są z Małą Epoką Lodową (Zgłobicki i in. 2014), co koreluje z fazą intensywnej erozji w całej Europie w tym okresie. Na terenie Wyżyny Lubelskiej skorelowano trzecią fazę erozji wąwozowej z intensywnym rozwojem rolnictwa związanym z produkcją zboża na eksport i silną deforestacją, która również była powszechna w Europie. Na okres ten przypadają także fazy erozyjne (8a – d: XV – połowa XVII wieku) rozwoju systemu wąwozowego koło Kazimierza Dolnego (Dotterweich i in. 2012). Ta faza odpowiada fazie I rozwoju rozcięcia erozyjnego w dolinie rzeki Sertejki. Najprawdopodobniej w tym okresie tworzyły się deluwia dolne, w których nie zaznacza się udział próchnicy. W Polsce Środkowej w tym czasie notowany jest okres osłabienia erozji (Twardy 2008). Stabilizacja ta jest wiązana m.in. z zapaścią gospodarczą w okresie „potopu szwedzkiego” (Twardy 2008). Na Pojezierzu Suwalskim najmłodszy okres akumulacji osadów stożków napływowych rozpoczął się od XIV/XV w., zaś w jednym stożku intensywna faza rozwoju przypada na wiek XVI i trwa do chwili obecnej (Smolska 2005).

Po fazie I nastąpiła stabilizacja stożka w dolinie Sertejki. Świadczyć o tym może gleba kopalna udokumentowana w strefie dystalnej stożka w stropie deluwii dolnych. Zmniejszyła się wówczas siła procesów erozyjnych zachodzących na zboczach doliny Sertejki. Brak gleby w wyższych partiach stożka najprawdopodobniej spowodowany

odowany jest erozją w późniejszym okresie. Faza II jest trudna do wydatowania, trwała najprawdopodobniej w II poł. XVIII w., być może związana jest z okresem konfliktów polsko-rosyjskich w okresie przedrozbiorowym.

Faza III miała miejsce od II poł. XVIII wieku do II poł. XIX wieku w czasie rewolucji przemysłowej, podczas której postęp technologiczny w rolnictwie (m.in. wprowadzenie płodozmian, wyspecjalizowanego pasterstwa, czy upowszechnienie roślin okopowych) doprowadził do przeobrażeń środowiska. Po 1772 r. w rejonie wsi Selezni rozpoczyna się okres intensywnego rozwoju wielokierunkowego rolnictwa. Faza III rozwoju stożka sertejskiego odpowiada fazie 9 (XVIII – połowa XIX wieku) rozwoju wąwozów w rejonie Kazimierza Dolnego na Wyżynie Lubelskiej (Dotterweich i in. 2012).

Faza IV na obszarze sertejskim obejmowała okres od reform rolniczych (1861 r.) po II wojnę światową. Wówczas część stromych stoków dolin została częściowo zagospodarowywana rolniczo, znacząco wzrosła ogólna powierzchnia gruntów rolnych (Golosov i in. 2017), co spowodowało wzmożoną denudację zboczy doliny Sertejki. O erozji wąwozowej od końca XIX w. po II połowę wieku XX na obszarze zachodniej Rosji w kontekście erozji gleb pisze również Sidorchuk i in. (2006). Podczas tej fazy rozpoczęła się zapewne akumulacja deluwii górnych. Odpowiada to fazie 10b i 10c w koncepcji Dotterweicha i in. (2012).

Zgłobicki i in. (2014) wyróżniają fazę erozyjną przypadającą na XIX i XX wiek, wówczas został wprowadzony płodozmian oraz rośliny okopowe. W tym okresie panowało zwiększone zapotrzebowanie na ziemi uprawowe, co spowodowane było kryzysem ekonomicznym i potrzebami wojskowymi. Zaczęto użytkować tereny wcześniej uważane za mało atrakcyjne rolniczo, co z kolei skutkowało zmniejszeniem retencji obszaru i wzrostem spływu powierzchniowego. Ponadto intensywnie rozwijano sieć dróg, po których jeździły maszyny rolnicze, doprowadzając do intensyfikowania spływu skoncentrowanego. W koncepcji Twardego (2008) na ten okres przypada ostatnia faza (ostatnie 200 lat) transformacji rzeźby w Polsce Środkowej, czyli faza VII. Dla tej fazy charakterystyczne było silne odlesianie terenów oraz uprzemysławianie ośrodków miejskich.

V faza (od II wojny światowej po lata 90. XX w.) to okres przekształcenia stożka wskutek działalności agrotechnicznej, przemieszanie stropowej części deluwii górnych i uformowanie

diamiktonu rolnego. Jeszcze w latach 80. XX w. obszar zajmowany przez stożek użytkowany był jako łąki kośne. Dla systemu parowów około Kazimierza Dolnego odpowiada to fazom 10c oraz 11 (Dotterweich i in. 2012).

Ostatni etap rozwoju stożka (faza VI) związany jest z upadkiem kołchozów w latach 90. XX w. i zaprzestaniem rolniczego użytkowania terenu. Porzucenie działalności rolniczej, spowodowało wykształcenie na powierzchni stożka poziomu próchnicznego o niewielkiej miąższości (około 5 cm). Faza ta trwa do chwili obecnej.

Główne fazy rozwoju stożka sertejskiego miały miejsce najwcześniej od II poł. XVII w. do I poł. XVIII w. (faza I) oraz od 3. ćwierci XVIII w. do połowy XX w. (faza III i IV). Nawiązują one do faz erozji dokumentowanych w Europie Środkowej (Twardy 2008, 2011, 2013; Dotterweich i in. 2012; Zgłobicki i in. 2014). Nastąpił wówczas wzrost intensywności i częstości opadów, które intensyfikowały erozję i akumulację osadów stokowych. Epizody te były często uwarunkowane przez rozwój upraw ziemi (m.in.: Dotterweich 2008; Dotterweich, Dreibrodt 2011; Panin i in. 2011; Dotterweich i in. 2012). Jednocześnie czynniki klimatyczne i antropogeniczne nakładają się na siebie, co utrudnia ich rozróżnienie, tym bardziej, że wpływ człowieka (np. pożary lub nadmierny wypas zwierząt) może imitować naturalne przeobrażenia cech komponentów środowiska powodujące inicjowanie erozji czy potęgujące dalszy rozwój form (Bintliff 2002). W niektórych częściach Europy, na przykład na obszarze południowych Niemiec, wpływ klimatu na erozję wąwozową miał drugorzędne znaczenie, dominował tu sposób użytkowania ziemi (Lang 2003). Jednocześnie brak obserwacji współczesnego przebiegu procesów stokowych w obrębie badanych form w otwartym, choć nieużytkowanym intensywnie, krajobrazie dowodzi, że najprawdopodobniej główny impuls do zainicjowania denudacji stoków następuje w pierwszym okresie intensywnych przeobrażeń środowiska (tj. np. w pierwszych latach po deforestacji).

## Podsumowanie

Udokumentowano sześć faz rozwoju stożka akumulacyjnego rozwiniętego w dolinie Sertejki. Podczas fazy I (od II poł. XVII w. do około XVIII w.) akumulowane były deluwia dolne, głównie przez splukiwanie rozproszone. Okresowo następowało rozcinanie powierzchni stożka w efekcie splukiwania liniowego i akumulacja proluwii.

Faza II (około połowy XVIII w.) to stabilizacja stożka, w której miejscami(?) dochodziło do formowania niezbyt mięjszego poziomu próchnicznego gleby, częściowo związanego z akumulacją materii organicznej w trakcie wezbrań Sertejki. Faza III przypada na okres od II poł. XVIII w. po II poł. XIX w. W trakcie jej trwania deponowane były deluwia środkowe. Kolejna IV faza zaczęła się w drugiej połowie XIX w. i trwała prawdopodobnie do połowy XX w. Był to okres akumulacji deluwii górnych, które powstawały w warunkach splukiwania rozproszonego (podobnie jak w przypadku deluwii dolnych). W fazie V (od połowy po lata 90. XX w.) formowany był diamikton rolny, który tworzył się podczas intensywnego użytkowania rolniczego samego stożka. Ostatnia faza VI przypada na względną stabilizację stożka trwającą od lat 90. XX w. po czasy obecne. W ciągu tej fazy wykształcił się poziom próchniczny o niewielkiej mięjszości.

Analizowany stożek akumulacyjny ukształtowany został podczas zmiennych warunków klimatycznych Małej Epoki Lodowej. Jednocześnie bardzo duży wpływ na rozwój formy miały zmiany środowiskowe, wygenerowane przez postępujący wzrost intensywności rolnictwa.

Zauważalne jest, że osady stożka są ściśle powiązane pod względem uziarnienia z materiałem źródłowym. Cechy teksturalne osadów budujących stożek są w znacznym stopniu odziedziczone po osadach źródłowych, co świadczy o ich krótkim transporcie i szybkiej depozycji. Najsilniejsza transformacja osadów zaszła w obrębie proluwiiów.

Analiza cech strukturalnych i teksturalnych osadów stożka pozwoliła określić warunki ich depozycji. Wahania wartości wskaźników uziarnienia deluwii dolnych i górnych oraz proluwiiów wskazują na dużą zmienność dynamiki środowiska depozycyjnego podczas poszczególnych faz rozwoju badanej formy.

Na badanym obszarze zaistniały dogodne warunki do powstawania i rozwoju rozległych systemów rozcięć erozyjnych. Złożyły się na nie: 1 – zwiększona suma opadów w okresie Małej Epoki Lodowej, 2 – deforestacja terenu spowodowana przez antropopresję oraz intensywny rozwój agrotechniki, 3 – sprzyjające warunki geomorfologiczne i topograficzne silnie nachylonego stoku basenu pojeziornego, 4 – podatne na erozję podłoże wysoczyzny. Skutkowało to utworzeniem rozległego stożka akumulacyjnego, o maksymalnej mięjszości budujących go osadów sięgających około 2 m akumulowanych w ciągu 350 lat.

## Podziękowania

Autorzy składają podziękowania Recenzentom artykułu oraz Redakcji AGL za cenne uwagi, które w znaczącym stopniu podniosły jakość merytoryczną pracy.

Badania zrealizowano w ramach projektu finansowanego z grantu Narodowego Centrum Nauki Nr 2017/25/B/HS3/00274.

## Literatura

- Abramov L.S. 1972. Opisaniya prirody nashey strany: Razvitiye fiziko-geograficheskikh kharakteristik. Mysl'. Moskva.
- Belyaev V.R., Eremenko E.A., Panin A.V., Belyaev Y.R. 2005. Stages of Late Holocene gully development in the Central Russian Plain. *International Journal of Sediment Research* 20(3): 224-232.
- Bintliff J. 2002. Time, process and catastrophism in the study of Mediterranean alluvial history: a review. *World Archaeology* 33: 417-435.
- Blott S., Pye K. 2001. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landform* 26: 1237-1248.
- Bronk Ramsey C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51(1): 337-360.
- Dotterweich M. 2008. The history of soil erosion and fluvial deposits in small catchments of Central Europe: Deciphering the long-term interaction between humans and the environment. *Geomorphology* 101: 192-208.
- Dotterweich M., Dreibrodt S. 2011. Past Land Use and Soil Erosion Processes in Central Europe. *PAGES News* 19(2): 49-51.
- Dotterweich M., Rodzik J., Zgłobicki W., Schmitt A., Schmidtchen G., Bork H.R. 2012. High resolution gully erosion and sedimentation processes, and land use changes since the Bronze Age and future trajectories in the Kazimierz Dolny area (Nałęczów Plateau, SE-Poland). *Catena* 95: 50-62.
- Dreibrodt S., Lomax J., Nelle O., Lubos C., Fischer P., Mitusov A., Reiss S., Radtke U., Nadeau M., Grootes P. M., Bork H.R. 2010. Are mid-latitude slopes sensitive to climatic oscillations? Implications from an Early Holocene sequence of slope deposits and buried soils from eastern Germany. *Geomorphology* 122: 351-369.
- Folk R.L., Ward W. 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3-26.
- Golosov V. 2002. Soil erosion and small river aggradation in Russia. Proceedings of 12<sup>th</sup> ISCO Conference, May 26-31, 2002. Tsinghua University Press, Beijing: 154-159.
- Golosov V., Ivanova N., Kurbanova S. 2017. Influence of agricultural development and climate changes on the drainage valley density of the southern half

- of the Russian Plain. *International Journal of Sediment Research* 32(1): 60-72.
- Gorlach A., Kalm V., Hang T. 2015. Thickness distribution of quaternary deposits in the formerly glaciated part of the East European plain. *Journal of Maps* 11(4): 625-635.
- Hildebrandt-Radke I. 2017. Rekonstrukcja środowiska przyrodniczego na podstawie analiz litologicznych i geochemicznych. W: M. Krzepakowski, M. Moeglich, P. Wroniecki (red.) *Dzwonowo. Średniowieczne zaginionie miasto. Tom I. Środowisko naturalne, zarys dziejów, badania nieinwazyjne*. Muzeum Regionalne w Wągrowcu: 32-46.
- Jones P.D., Mann M.E. 2004. Climate over past millennia. *Reviews of Geophysics* 42(2): 1-42.
- Kalicki T., Alexandrovskiy A.L., Kittel P., Krupa J., Mazurkevich A., Pawłowski D., Płóciennik M., Stachowicz-Rybka R. 2015. From Lake Basins to River Valley, Late Vistulian and Holocene evolution of last glaciation area: Serteya Basin (Western Russia). International conference "Gradualism vs Catastrophism in Landscape Evolution". Barnaul, Russia: 159-161.
- Kaplan J.O., Krumhardt K.M., Zimmermann M. 2009. The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe. *Quaternary Science Reviews* 28: 3016-3034.
- Kittel P. 2014. Slope deposits as an indicator of anthropopressure in the light of research in Central Poland. *Quaternary International* 324: 34-55.
- Kittel P. 2016. Badania geologiczne pokryw stokowej na stanowisku archeologicznym Szykielew 11, gm. Pabianice. *Acta Universitatis Lodzianis. Folia Geographica Physica* 15: 25-35.
- Kittel P., Mazurkevich A., Dolbunova E., Kalicki T., Kulkova M., Pawłowski D., Płóciennik M., Stachowicz-Rybka R., Zaitseva G. 2016. Evolution of Lake Basins in the Serteya region (Western Russia) in the context of Neolithic settlement's development. Proceedings of the International Conference "Paleolimnology of Northern Eurasia Experience, Methodology, Current Status". 22 – 27 August 2016, Yakutsk: 13-16.
- Kittel P., Mazurkevich A., Dolbunova E., Kazakov E., Mroczkowska A., Pavlovskaya E., Piech W., Płóciennik M., Sikora J., Teltevskaia Y., Wieckowska-Lüth M. 2018. Palaeoenvironmental reconstructions for the Neolithic pile-dwelling Serteya II site case study, Western Russia. *Acta Geographica Lodzianis* 107: 191-213.
- Klimczak R. 1988. Metoda obliczania objętości form wklęsłych i jej zastosowanie w geologii dynamicznej. *Czasopismo Geograficzne* 59(2): 201-208.
- Kondracki J. 1992. Fizycznogeograficzna regionalizacja republik Litewskiej i Białoruskiej w układzie dziesiętnym. *Przegląd Geograficzny* 64(3-4): 341-346.
- Kulkova M.A., Mazurkevich A.N., Dolukhanov P.M. 2001. Chronology and palaeoclimate of prehistoric sites in Western Dvina-Lovat' area of North-Western Russia. *Geochronometria* 20: 87-94.
- Lang A. 2003. Phases of soil erosion-derived colluviation in the loess hills of South Germany. *Catena* 51: 209-221.
- Majewski M. 2017. Cechy uziarnienia deluwii na tle osadów źródłowych na przykładzie zagłębień bezodpływowych w rejonie Łupawska (Pojezierze Zachodniopomorskie). *Acta Geographica Lodzianis* 106: 221-223.
- Marks L. 2016. Zmiany klimatu w holocenie. *Przegląd Geologiczny* 64(1): 59-65.
- Mazurkevich A.N., Korotkevich B.N., Dolukhanov P.M., Shukurov A.M., Arslanov Kh.A., Savel'eva L.A., Dzinoridze E.N., Kulkova M.A., Zaitseva G.I. 2009a. Climate, subsistence and human movements in the Western Dvina – Lovat River Basins. *Quaternary International* 203 (1-2): 52-66.
- Mazurkevich A., Hookk D., Fassbinder J. 2009b. Magnetometry and susceptibility prospecting on Neolithic-early Iron Age sites at Serteya, North-West Russia. *ArcheoSciences Revue d'archeometrie, supplement* 33: 81-85.
- Mazurkevich A., Kulkova M., Savel'eva L. 2012. Geoarchaeological issues of the Upper Dnieper - Western Dvina River region (Western Russia): fieldtrip guide. Geomorphic processes and geoarchaeology. International conference "From Landscape Archeology to Archaeotourism", August 20-24, 2012. Moscow-Smolensk, Russia: 49-69.
- Mazurkevich A., Dolbunova E., Kittel P., Fassbinder J. W. E., Maigrot Y., Mroczkowska A., Płóciennik M., Sikora J., Słowiński M., Sablin M., Shirobkov I. 2017. Multi-disciplinary research on the Neolithic pile-dwelling Serteya II site (Western Russia) and the landscape reconstruction. W: A. Marciniak-Kajzer, A. Andrzejewski, A. Golański, S. Rzepecki, M. Wąs (red.) *Nie tylko krzemienie – Not only flints*. Instytut Archeologii Uniwersytetu Łódzkiego, Łódzka Fundacja Badań Naukowych, Stowarzyszenie Naukowe Archeologów Polskich Oddział w Łodzi, Łódź: 103-128.
- 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*. Uniwersytet Warszawski, Warszawa: 29-90.
- Mycielska-Dowgiałło E., Ludwikowska-Kędzia M. 2011. Alternative interpretations of grains-size data from Quaternary deposits. *Geologos* 17(4): 189-203.
- Panin A.V., Fuzeina J.N., Belyaev V.R. 2009. Long-term development of Holocene and Pleistocene gullies in the Protva River basin, Central Russia. *Geomorphology* 1008(1-2): 71-91.
- Panin A., Fuzeina Y., Karevskaya I., Sheremetskaya E. 2011. Mid-Holocene gullying indicating extreme hydroclimatic events in the Centre of the Russian Plain. *Geographica Polonica* 84(1): 95-115.

- Pietrzak M. 2002. Geomorfologiczne skutki zmian użytkowania ziemi na Pogórzu Wiśnickim. Wyd. IGI GP, Uniwersytet Jagielloński.
- Poesen J. 2018. Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. *Earth Surface Processes and Landforms* 43: 64-84.
- Sidorchuk A., Litvin L., Golosov V., Chernysh A. 2006. European Russia and Byelorussia. W: J. Boardman, J. Poese (red.) *Soil Erosion in Europe*. John Wiley & Sons: 73-93.
- Smolska E. 2003. Cechy deluwii w przykładowym osadów stokowych pagórka w okolicy Łopuchowa na Pojezierzu Suwalskim. *Prace i Studia Geograficzne* 33: 45-57.
- Smolska E. 2005. Znaczenie spłukiwania w modelowaniu stoków młodoglacjalnych (na przykładzie Pojezierza Suwalskiego). Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW, Warszawa.
- Starkel L. 2005. Role of climatic and anthropogenic factors accelerating soil erosion and fluvial activity in Central Europe. *Studia Quaternaria* 22: 27-33.
- Stochlak J. 1996. Osady deluwialne nieodłączny efekt procesu spłukiwania i propozycja ich podziału. Ogólnopolskie sympozjum naukowe „Ochrona agroekosystemów zagrożonych erozją”, Puławy-Lublin-Zwierzyniec, 11-13 września 1996 r. Prace Naukowe, Część 2, Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa, Puławy: 111-132.
- Szmańda J. 2011. Zapis warunków depozycji w uziarnieniu aluwii pozakorytowych. *Landform Analysis* 18.
- Tarasov P.E., Savelieva L.A., Long T., Leipe C. 2018 (in press). Postglacial vegetation and climate history and traces of early human impact and agriculture in the present-day cool mixed forest zone of European Russia. *Quaternary International* <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.02.029>
- Twardy J. 1995. Dynamika denudacji holocenijskiej strefie krawędzowej Wyżyny Łódzkiej. *Acta Geographica Lodziensia* 89.
- Twardy J. 2000. Deluwia neoholocenijskie – przykłady z Wyżyny Łódzkiej. *Acta Geographica Lodziensia* 78: 135-173.
- Twardy J. 2003. Cechy sedymentologiczne neoholocenijskich osadów stokowych na Wyżynie Łódzkiej i ich wartość interpretacyjna. *Prace i Studia Geograficzne* 33: 25-44.
- Twardy J. 2008. Transformacja rzeźby centralnej części Polski Środkowej w warunkach antropopresji. Wyd. UŁ, Łódź.
- Twardy J. 2011. Influences of man and climate changes on relief and geological structure transformation in Central Poland since the Neolithic. *Geographia Polonica* 84: 163-178.
- Twardy J. 2013. Pradziejowa kolonizacja małych dolin rzecznych środkowej Polski i jej konsekwencje dla rozwoju rzeźby. *Landform Analysis* 4: 97-106.
- Twardy J. 2017. Holocenijska ewolucja nieck i dolin denudacyjnych w okolicach Łodzi w świetle dotychczasowych badań. *Acta Geographica Lodziensia* 106: 17-30.
- Twardy J., Forsyśki J., Kittel P. 2014. Evolution of vegetation, relief and geology in Central Poland under anthropopressure. W: E. Kobojeck, T. Marszał (red.) *Origin of relief of Central Poland and its anthropogenic transformation in Łódź University geographical research*. Wyd. UŁ, Łódź: 57-94.
- Velichko A.A., Faustova M.A., Pisareva V.V., Gribchenko Yu.N., Sudakova N.G., Lavrentiev N.V. 2011. Glaciations of the East European Plain: Distribution and Chronology. *Developments in Quaternary Science* 15: 337-359.
- Visher G. S. 1969. Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology* 39: 1074-1106.
- Wicik B. 1993. Badania laboratoryjne w opracowaniach fizycznogeograficznych. W: A. Richling (red.) *Metody szczegółowych badań geografii fizycznej*. PWN, Warszawa: 28-36.
- Yeremeyev I.I. 2003. Rannesrednevekovyye pamyatniki u Velizhskikh porogov na Zapadnoy Dvine (k probleme rekonstruktsii marshrutov puti «iz varyag v greki), W: A.N. Mazurkovich (red.) *Drevnosti Podvin'ya: istoricheskiy aspekt*. Izdatel'stvo Gosudarstvennogo Ermitazha, Sankt-Peterburg: 258-270.
- Zgłobicki W., Rodzik J., Superson J., Dotterwiech M., Schmitt A. 2014. Phases of gully erosion in the Lublin Upland and Roztocze region. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio B* 69(1): 149-162.

## Summary

The article presents sedimentological analyzes of the sediment of a proluvial-deluvial fan developed in the Serteyka River valley in Western Russia. The fan developed at the outlet of a well-developed system of erosional cuts. The length of fan is about 70 m. Erosional cuts are formed on steep and short slopes and incised into the outwash plain to a length of about 110 m. The aim of the paper is to determine the factors that had a decisive influence on the accumulation of fan's sediments. The volume of the accumulation fan is about 3639.6 m<sup>3</sup>, and the volume of eroded sediments in the gully system is about 3883.13 m<sup>3</sup>. The difference in volume, i.e. about 243.53 m<sup>3</sup>, of sediments was most probably included in the fluvial system by washing the fan during floods.

Neolithic cultures already had an influence on the environment in this area. In the Middle Ages, this influence gradually increased, while in the period from the 18<sup>th</sup> century to the 19<sup>th</sup> century was noted at the apogee. It was connected with the deforestation of large forest areas. This caused

increased erosion of the steep slopes of the Serteyka River valley.

Detailed geological mapping of the area was performed. It has been documented that inorganic deposits cover gytja. The sediments of researched fan were recognized as: lower deluvium, proluvium, central deluvium, upper deluvium and tillage diamicton. Two radiocarbon dates of samples taken from the central zone and the distal zone of the fan were estimated. The age of the beginning of the fan's deposits is dated to the period from 2<sup>nd</sup> half of the 17<sup>th</sup> century. Two dates of macrofossils from the very top of gytja – 160±35 years <sup>14</sup>C BP (MKL-3633), 140±40 years <sup>14</sup>C BP (MKL-3635), give after calibration with a probability of 95.4% respectively: 1668–1950 AD and 1667–1950 AD. The lower deluvium deposits are light brown in color, and have poor lamination, and numerous charcoals. Values of sedimentological indexes have relatively large deviations. The average grain size diameter for the lower deluvium ranges from 2.9 to 4.3 phi. These sediments are characterized by a positive skewness (0.04–0.3) and are poorly or moderately sorted. Proluvium deposits are inserts that fill small erosional cuts within the lower deluvium deposits. They are built by multi-grained sands, with an admixture of gravels and clay lumps with diameters of up to 3 cm. The central deluvium deposits are brown, not laminated, and their sedimentological indices have small ranges, which gives very small deviations in the vertical profile. These are multi-grained sediments with a large fraction of the fine fraction. The upper deluvium deposits are characterized by subhorizontal lamination. The layers are alternately light brown and dark brown with a thickness of 1 to 3 cm. The sediment rhythmicity can also be seen in sedimentological indices, especially in the average grain diameter. Tillage diamicton are deposits made as a result of agrotechnical denudation. They were created as a result of long-term cultivation. They are characterized by a massive structure, poor sorting, an advantage of the sandy fraction, the presence of humic ad-

mixtures and the lack of calcium carbonate. All deposits of the fan are strongly decalcified. The source material of the fan's sediments was also tested – these are sands and silts. It is noticeable that the fan deposits have slightly changed from the source material in sedimentological index values. Features of analyzed deluvial covers are conditioned by the texture of the source sediments. There is also a small change in the mean diameter of grains in the fan. The share of thicker grains is only slightly larger than in the source material with similar sorting values.

Six stages of the formation of the fan are specified. Phase I lasted not earlier than from the 2<sup>nd</sup> half of the 17<sup>th</sup> century AD to the mid-18<sup>th</sup> c. (the accumulation of lower deluvium deposits). Phase II took place in the mid-18<sup>th</sup> c. and involves stopping of slope processes. Phase III from 2. half of the 18<sup>th</sup> c. to the 2. half of the 19<sup>th</sup> c. (accumulation of central deluvium deposits). Phase IV, the 2. half of the 19<sup>th</sup> c. to the mid-20<sup>th</sup> c. (accumulation of upper deluvium deposits). Phase V is the period from mid-20<sup>th</sup> c. to the 1990s (transformation of the upper part of the upper deluvium deposits into an agricultural diamicton). Phase VI is the period from the 90s of the 20<sup>th</sup> century to the present times (the formation of the humus level). The erosive-accumulation phases of the studied form can be correlated with the phases of shaping similar forms in Central and Eastern Europe.

The beginning of the accumulation of the fan's sediments was correlated with the pessimum of the Little Ice Age. The main reason for the formation of the fan is most likely a strong deforestation of this area in the 1. half of 18<sup>th</sup> c. AD. Numerous charcoals were indicated in lower deluvium. Climate changes during the LIA (eg. a greater number of heavy rains and or snow falls and later intense thaws) intensified erosion taking place on the slopes. The next accumulative-erosive phases are associated primarily with intense human activity, mostly agriculture.