

ZMIANY MORFOLOGICZNE COFKI ZBIORNIKA JEZIORSKO NA TLE PRZEMIAN DNA DOLINY WARTY MIĘDZY WOŹNIKAMI A UNIEJOWEM W ANTROPOCENIE

**Morphological changes in the backwater of the Jeziorsko Reservoir
against the background of changes in the bottom of the Warta River valley
between the Widawka estuary and Uniejów town in the Anthropocene**

ZBIGNIEW RDZANY¹ , ALEKSANDER SZMIDT¹ , MACIEJ KOSSOWSKI² 

Zarys treści. W artykule przedstawiono najmłodsze zmiany morfologiczne w odcinku dna doliny Warty między miejscowościami Woźniki i Uniejów. Choć różne przejawy antropopresji zapisały się w rzeźbie i osadach co najmniej od epoki brązu, wyraźne nasilenie tych procesów nastąpiło od I połowy XIX wieku – w antropocenie. W tym czasie duże znaczenie miały wydarzenia: przebiegająca etapowo budowa i rozbudowa wałów przeciwpowodziowych oraz skonstruowanie zaporowego Zbiornika Jeziorsko wraz z towarzyszącymi konstrukcjami i urządzeniami hydrotechnicznymi. Wały przeciwpowodziowe na odcinkach dna poza zbiornikiem wpłynęły na radykalne rozdzielanie procesów morfogenetycznych w obszarze międzywała i w zewnętrznych dwóch pasach zawala. W otoczeniu Zbiornika Jeziorsko wytworzyły się charakterystyczne strefy morfodynamiczne o zmiennej dynamice procesów funkcjonujące w zależności od wahań poziomu wody i zmienności przepływu w korycie Warty: strefa wybrzeży i strefa delty zbiornika. Badania skoncentrowane na szczegółowej analizie zmian rzeźby delty pozwoliły dowiedzieć, że jednorazowa powódź może zmienić stopień zamulenia zbiornika podobnie jak kilkadziesiąt lat stałej akumulacji. Stwierdzono także, że skutki powodzi można lepiej ocenić dopiero po kilku latach niż po kilku miesiącach od wystąpienia tego procesu.

Słowa kluczowe: środkowa Polska, dolina Warty, formy fluwialne, delta, odsypy, powódź

Abstract. The article analyses the youngest morphological changes in the central section of the Warta valley floor between Woźniki village and Uniejów town. Although various manifestations of human impact have been recorded in landforms and sediments since at least the Bronze Age, these processes became more intense in the first half of the 19th century. At that time, the construction and expansion of flood embankments, carried out in stages, was of great importance, as was the construction of the Jeziorsko Dam Reservoir with accompanying hydrotechnical structures and devices. The flood embankments in sections outside the reservoir resulted in a radical separation of morphogenetic processes in the area between the embankments and in the outer two belts of the embankment. In the vicinity of the Jeziorsko Reservoir, characteristic morphodynamic zones with variable process dynamics have developed, functioning depending on water level fluctuations and flow variability in the Warta riverbed: the coastal zone and the delta zone of the reservoir. The research, focused on a detailed analysis of changes in the relief of the delta, allowed to prove that a single flood can change the degree of siltation of the reservoir, just like several dozen years of constant accumulation. It was also found that the effects of floods can be better assessed only after a few years rather than after a few months after the event.

Key words: central Poland, Warta River valley, fluvial forms, delta, bars, flood

¹ Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Katedra Geografii Fizycznej, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź; e-mail: zbigniew.rdzany@geo.uni.lodz.pl, ORCID: 0000-0002-9059-9904; e-mail: aleksander.szmidt@geo.uni.lodz.pl, ORCID: 0000-0002-8269-6368

² Uniwersytet Łódzki, Szkoła Doktorska Nauk Ścisłych i Przyrodniczych, ul. Banacha 12/16, 90-237 Łódź; e-mail: maciej.kossowski@edu.uni.lodz.pl, ORCID: 0000-0001-8586-1579

Wprowadzenie

Badania przeprowadzono w biegnącym południkowo odcinku doliny Warty między Woźnikami a Uniejowem określanym w podziale fizyczno-geograficznym jako Kotlina Sieradzka (Solon i in. 2018; rys. 1). W centralnej części tego obszaru występuje największe nagromadzenie zmian antropogenicznych. Ten obszar antropopresji to rencyjny Zbiornik Jeziorsko i jego otoczenie. Obiekt ten został zbudowany pomiędzy miastem Warta a wsiami Skęczniew i Siedlątków w latach 1975–1986. Stanowi on największy sztuczny zbiornik w regionie łódzkim, a drugi pod względem powierzchni w Polsce (42,3 km²) i czwarty pod względem pojemności (202,8 mln m³). Choć dolina Warty poddana była różnym przejawom antropopresji od kilku tysięcy lat, inwestycja ta oznaczała nasilenie różnych zmian środowiska w jej granicach, a szczególnie w zasięgu dna dolinnego.

Celem badań była analiza zmian geomorfologicznych dna doliny Warty w zasięgu i w sąsiedztwie Zbiornika Jeziorsko ze szczególnym uwzględnieniem skutków procesów fluwialnych pod wpływem działalności człowieka w ciągu ostatnich 200 lat. Głównym obiektem badań było dno doliny, rozumiane jako obszar holocenijskiej terasy zalewowej oraz terasy niskiej (młodszo-dryasowej) w miejscu zasięgu zbiornika wraz ze strefą cofki, a także odcinki dna na północ od zbiornika po Uniejów i na południe po okolice wsi Woźniki w pobliżu ujścia Widawki do Warty. Przeglądowe badania tego wydłużonego odcinka doliny służyły ustaleniu jak budowa zbiornika zmieniła funkcjonowanie doliny w sensie geomorfologicznym i hydrologicznym poza jego zasięgiem, a jak budowa wałów przeciwpowodziowych zmieniła pozostałe odcinki dna dolinnego. Obiektem, który zwrócił szczególną uwagę autorów, jest delta Warty – jedna z największych delt śródlądowych w Polsce, rozwijająca się w południowej części zbiornika.

Strefa cofki w 2010 roku była objęta procesem ekstremalnym w postaci powodzi³ spowodowanej wysoką sumą opadów w zlewni Warty. Skutki morfologiczne, głównie morfometryczne tego procesu były obiektem szczegółowej analizy rzeźby na podstawie danych LiDAR (Light Detection and Ranging) pochodzących z pomiarów z lat

2009 i 2011. Materiały uzyskane z tych badań zostały opublikowane w 2022 roku (Rdzany i in. 2022). Pozyskanie przez autorów materiałów LiDAR w 2024 roku pochodzących z nalotów z kwietnia 2022 roku umożliwiło z kolei porównanie zmian w okresie, kiedy nie doszło do większego wezbrania, a miały miejsce jedynie typowe dla tego zbiornika sezonowe zmiany poziomu wody. Ponowne zbadanie morfologii cofki po uwzględnieniu nowych danych lidarowych było najistotniejszym celem szczegółowym podjętych badań. Drugim celem szczegółowym było ustalenie jak działalność człowieka, dość intensywna w dnie doliny w ciągu ostatnich 200 lat, wpływa na formy terenu i procesy morfogenetyczne.

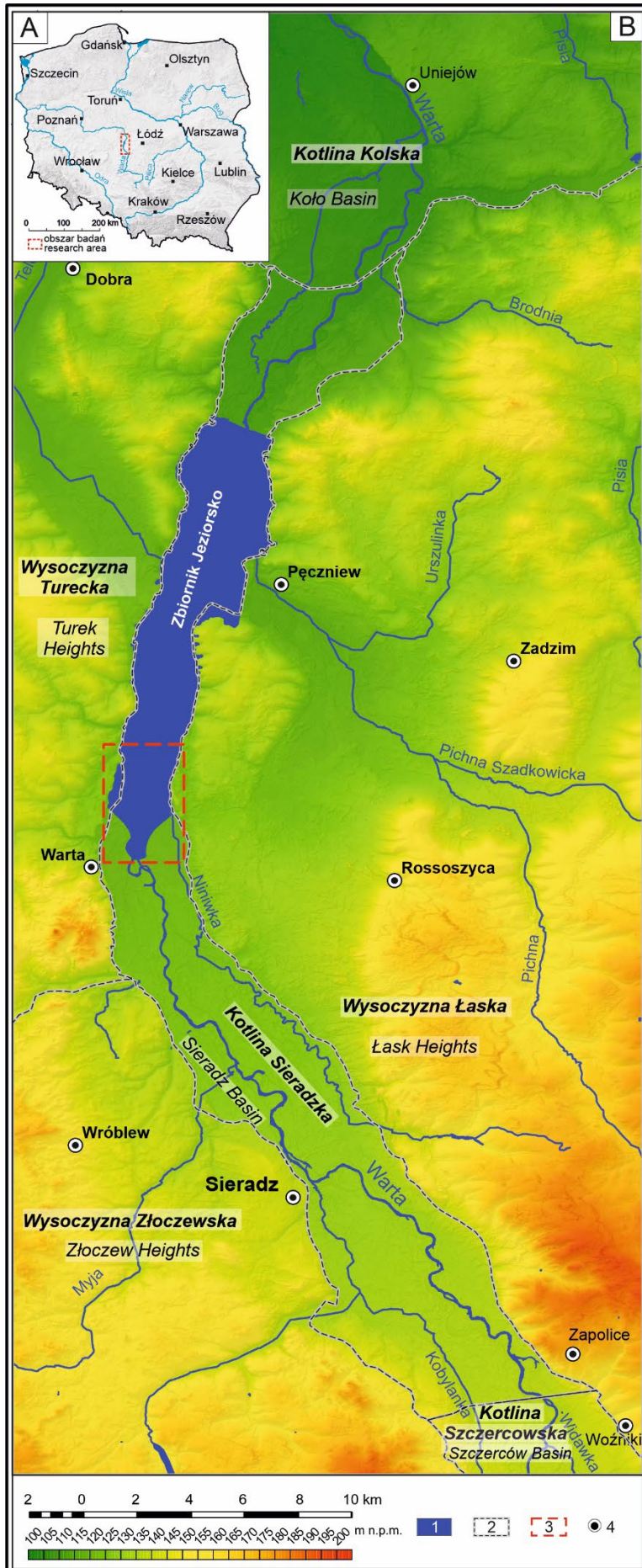
Materiały i metody badań

W pracy zastosowano wieloetapową procedurę badawczą (rys. 3). Jako pierwsze źródło do analizy zmian rzeźby doliny Warty w XIX i XX wieku do okresu powstania Zbiornika Jeziorsko użyto archiwalnych map topograficznych. Były to mapy Gilly'ego (1802–1803), Mapa Kwaternistrzostwa (1822–1843), mapy niemieckie z okresu 1870–1921 (między innymi mapy Reymanna w serwisie Mapster (2024), mapy WIG opracowane w latach 1929–1939 oraz mapy topograficzne wydane w Polsce po II wojnie światowej.

W przypadku tego rodzaju starszych źródeł danych uwzględniono ówczesne metody kartowania, zarówno od strony techniki pomiarowej, jak i stosowanych odwzorowań kartograficznych oraz zniekształceń z tym związanych (Jaskulski i in. 2013). Należy odnotować, że podobne problemy autorzy napotkali także z wieloma opracowaniami kartograficznymi powstałymi już po II wojnie światowej. Głównym problem wykorzystywania starszych publikacji kartograficznych było niezachowanie dobrej kartometryczności (Szmidt 2015).

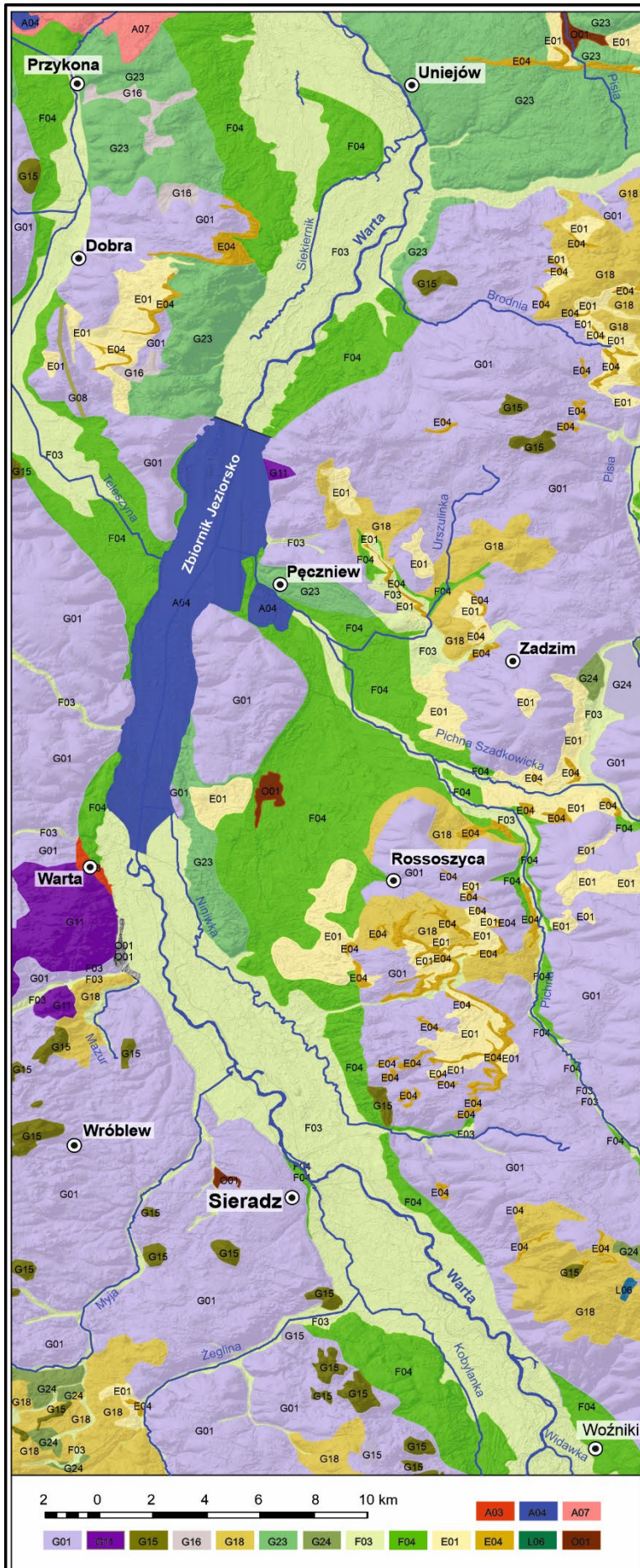
W celu umożliwienia analizowania map sprzed II wojny światowej w Systemach Informacji Geograficznej (GIS) nadano im geodniesienie w programie ESRI ArcGIS 10.8 metodą wskazywania punktów charakterystycznych (obiektów topograficznych) pomiędzy georeferowaną mapą a mapami współczesnymi posiadającymi prawidłową kalibrację, dostępnymi na Geoportalu Kra-

³ Powódź jest tu rozumiana jako „czasowe pokrycie przez wodę terenu, który w normalnych warunkach nie jest pokryty wodą, w szczególności wywołane przez wezbranie wody w ciekach naturalnych, zbiornikach wodnych, kanałach oraz od strony morza, z wyłączeniem pokrycia przez wodę terenu wywołanego przez wezbranie wody w systemach kanalizacyjnych [...]” (Ustawa z dnia 20 lipca 2017 – Prawo wodne; Dz.U. 2023 poz. 1478).



Rys. 1. Położenie obszaru badań
 A – obszar badań na tle Polski
 B – położenie delty Zbiornika Jeziorsko na tle odcinka doliny Warty między Woźnikami a Uniejowem
 1 – Zbiornik Jeziorsko,
 2 – granice mezoregionów wg Solona i in. (2018),
 3 – zasięg badań strefy cofki zbiornika,
 4 – miejscowości

Location of the research area
 A – research area compared to Poland
 B – location of the Jeziorsko Reservoir delta against the background of the section of the Warta valley between villages Woźniki and Uniejów
 1 – Jeziorsko Reservoir,
 2 – boundaries of mesoregions according to Solon *et al.* (2018),
 3 – scope of research in the reservoir backflow zone,
 4 – localities



Rys. 2. Szkic geomorfologiczny doliny Warty między Woźnikami a Uniejowem (oznaczenia wg Załozenia... 2021, zmodyfikowane)

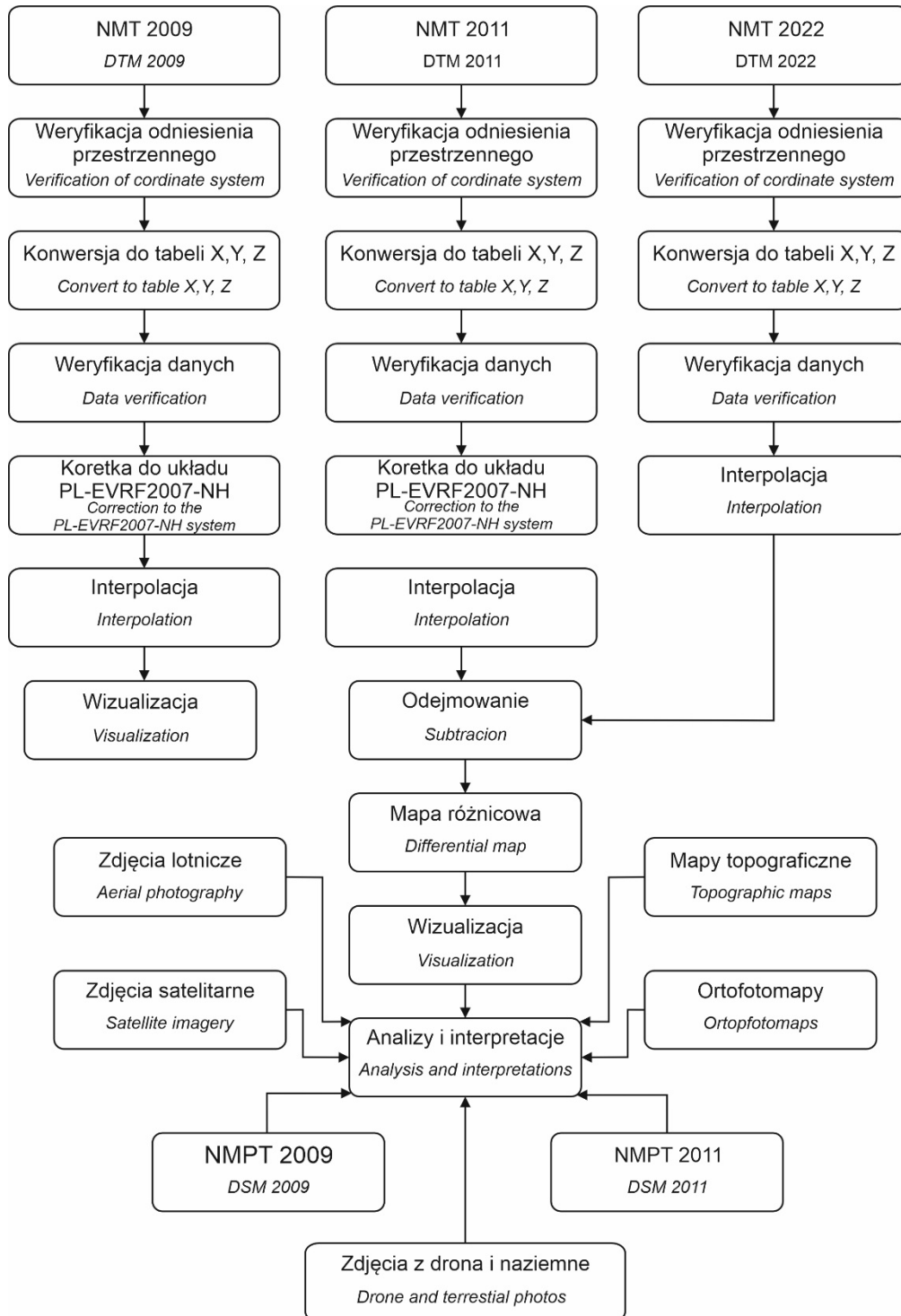
- G01 – wysoczyzna morenowa,
- G11 – morena czołowa,
- G15 – kemy, terasy kemowe,
- G16 – zagłębienia wytopiskowe,
- G18 – równina sandrowa; szlak sandrowy,
- G23 – terasa pradolinna,
- G24 – równina zastoiskowa,
- F03 – terasa (równina) zalewowa (z terasą nadzalewową niższą młodszodryasową),
- F04 – terasa nadzalewowa,
- E01 – równina eoliczna,
- E04 – wydmy ustabilizowane,
- L06 – równina pojeziorna,
- O01 – równina biogeniczna,
- A03 – zrównanie antropogeniczne,
- A04 – antropogeniczny zbiornik wodny,
- A07 – zwałowiska

Geomorphological sketch of the Warta valley between Woźniki and Uniejów (designations according to Załozenia... 2021, modified)

- G01 – moraine plateau,
- G11 – terminal moraine,
- G15 – kames, kame terraces,
- G16 – kettle holes,
- G18 – outwash plain; outwash track,
- G23 – ice-marginal valley terrace,
- G24 – ice dammed lake plain
- F03 – floodplain,
- F04 – river terrace,
- E01 – aeolian plain,
- E04 – stabilized dunes,
- L06 – lacustrine plain,
- O01 – biogenic plain,
- A03 – anthropogenic flat,
- A04 – anthropogenic water reservoir,
- A07 – dumps

jowym (Geoportal 2024) w układzie współrzędnych 1992 (EPSG 2180). W zależności od arkusza mapy i możliwości zinterpretowania obiektów terenowych definiowano po kilkadziesiąt punktów referencyjnych. Po uzyskaniu najlepszego obrazu porównawczego mapy poddano procesowi rektyfikacji. Mapy topograficzne z okresu po II wojnie

światowej wykorzystano dzięki usłudze WMS z Geoportalu Krajowego. Cennym źródłem kartograficznym były ponadto materiały BDOT10k (Bazy danych obiektów topograficznych o stopniu szczegółowości 1:10 000), dostępne także na Geoportalu Krajowym.



Rys. 3. Schemat zastosowanej procedury badawczej
Research procedure diagram

Drugim źródłem służącym do analizy zmian rzeźby były zdjęcia lotnicze z lat 1958 i 1979 pochodzące z zasobów kartograficznych Biblioteki Wydziału Nauk Geograficznych Uniwersytetu Łódzkiego oraz ortofotomapy udostępniane przez Geoportal Krajowy. Zdjęcia zostały zeskanowane i nadano im geoodniesienie. Warto tutaj podkreślić występujący problem w procesie nadawania geoodniesienia starym zdjęciom lotniczym z obrazem obszarów den dolinnych w porównaniu z obszarami zurbanizowanymi. W dnach dolin, ze względu na charakter ich użytkowania i same procesy rzeczne, jest niewiele obiektów referencyjnych mogących stanowić podstawę do nadania odniesienia przestrzennego. Zdjęciom lotniczym po nadaniu geoodniesienia wyrównano parametry tonalne i następnie poddano zdjęcia przycięciu i mozaikowaniu celem uzyskania większego obszaru. Wykonanie mozaiki zdjęć w formacie TIFF przeprowadzono w programie Agisoft Metashape Professional. Prace związane z opracowaniem kartograficznym przeprowadzono ponadto w programach: ESRI ArcGIS 10.8.2, QGIS 3.22, Golden Software Surfer v. 16, Agisoft Metashape Professional i DJI Terra Pro.

Trzecim źródłem danych była dokumentacja uzyskana za pomocą dronów, zawierająca geotagowane zdjęcia lotnicze oraz ortofotomapy wykonane w latach 2021–2022. Formy i obiekty pokrycia terenu dokumentowane na zdjęciach i filmach na wybranych fragmentach obszaru badań przy pomocy dronów obejmują głównie skrajne fragmenty strefy deltowej zbiornika, ściślej – teren nieopodal mostu nad Wartą będącego fragmentem drogi nr 710 oraz obszar położony w okolicy miejscowości Brzeg. Ortofotomapy powstały w wyniku nalotu fotogrametrycznego wykonanego dronami z kamerą RGB. Składanie zdjęć i wykonywanie ortofotomap odbyło się przy użyciu oprogramowania DJI Terra Pro. Wytworzone produkty kartograficzne posiadają rozdzielczość terenową w okolicach 3,2 piksela/cm i stanowią uzupełnienie dla współczesnych danych satelitarnych.

Czwartym źródłem danych dającym możliwość prześledzenia zmian w ostatnich kilkunastu latach były modele GRID powstałe w wyniku lotniczego skanowania laserowego z 2009 roku (udostępnionych przez firmę MGGP Areo) oraz modele i chmury punktów (LAS) z lat 2011 i 2022 pozyskane z Geoportalu Krajowego (Mapy Geoportalu 2024). Dane te zostały zweryfikowane, ujednolicone i wyrównane do rozdzielczości poziomej 1 metra, zaś dokładność pionowa według Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii (GUGiK) jest określana na 0,1 m. Szczegółowy

opis zastosowanych procedur tego etapu prac został opisany we wcześniejszym artykule (Rdzany i in. 2022). Ze względu na okres pomiędzy wykonywaniem pomiarów i zmieniające się rozporządzenia w zakresie pionowego układu odniesienia, uwzględniono poprawki wynikające z różnic w układach osnowy wysokościowej (w siatce ≤ 1 m NMT PL-KRON86-NH z lat 2009 i 2011, NMT PL-EVRF2007-NH z 2022). Operacje na danych LiDAR oraz modelach GRID, takie jak wyodrębnianie danych, weryfikacje, konwersje, wyrównania, interpolacje, mapy różnicowe, obliczenia oraz wizualizacje wykonano w programie Golden Software Surfer 16 oraz QGIS 2.18 i 3.28.

Przebieg procesów morfogenetycznych w dolinie Warty do końca XVIII wieku

Wieloetapowe kształtowanie doliny Warty w jej różnych poziomach na odcinku od Burzenina do Dobrowa, począwszy od zlodowacenia warty, przedstawił Forysiak (2005), a część północna, zwana basenem uniejowskim, była syntetycznie ujęta w artykule Petery-Zganiacz i Forysiaka (2012). Forysiak (2005) dowiódł między innymi, że poziom terasowy najwyższy, późnowarciański zachował się w postaci izolowanych spłaszczeń, zawierających w osadach ślady wyraźnych procesów erozyjnych. Poziom kolejny, tak zwany wysoki, pochodzący z górnego plenivistulianu, jest nieciągły i zmiennej szerokości (rys. 2). Tworzą go osady piaskodennej rzeki roztokowej – stosunkowo szerokiej i płytkiej, osiagające miąższość do 10 m. Następny ciągły, choć izolowany często poziom niski z młodszego dryasu zbudowany jest z piasków i mułów. Jego osady można wiązać z rozwiniętym systemem wielokorytowym. Ówczesne dno doliny w okolicach Uniejowa osiągało szerokość dochodzącą do 4 km. Na przełomie vistulianu i holocenu nastąpiła faza silnej erozji, która z różnym nasileniem mogła zaznaczać się do okresu atlantyckiego.

Dno holocenne charakteryzuje się znacznym rozczłonkowaniem z licznymi zarysami krętych paleokoryt, rzadziej ze śladami rzeki meandrującej. Według Forysiaka (2005) eo- i mezoholocen charakteryzował się stabilizacją rzeki i powolną agradacją dna dolinowego. Dla neoholocenu charakterystyczne jest zwiększenie agradacji, powstanie młodych mad i zatorfień w warunkach dominacji układu wielokorytowego. W epoce brązu i żelaza nastąpił rozwój osadnictwa w dolinie Warty, który przyczynił się do zwiększenia dost-

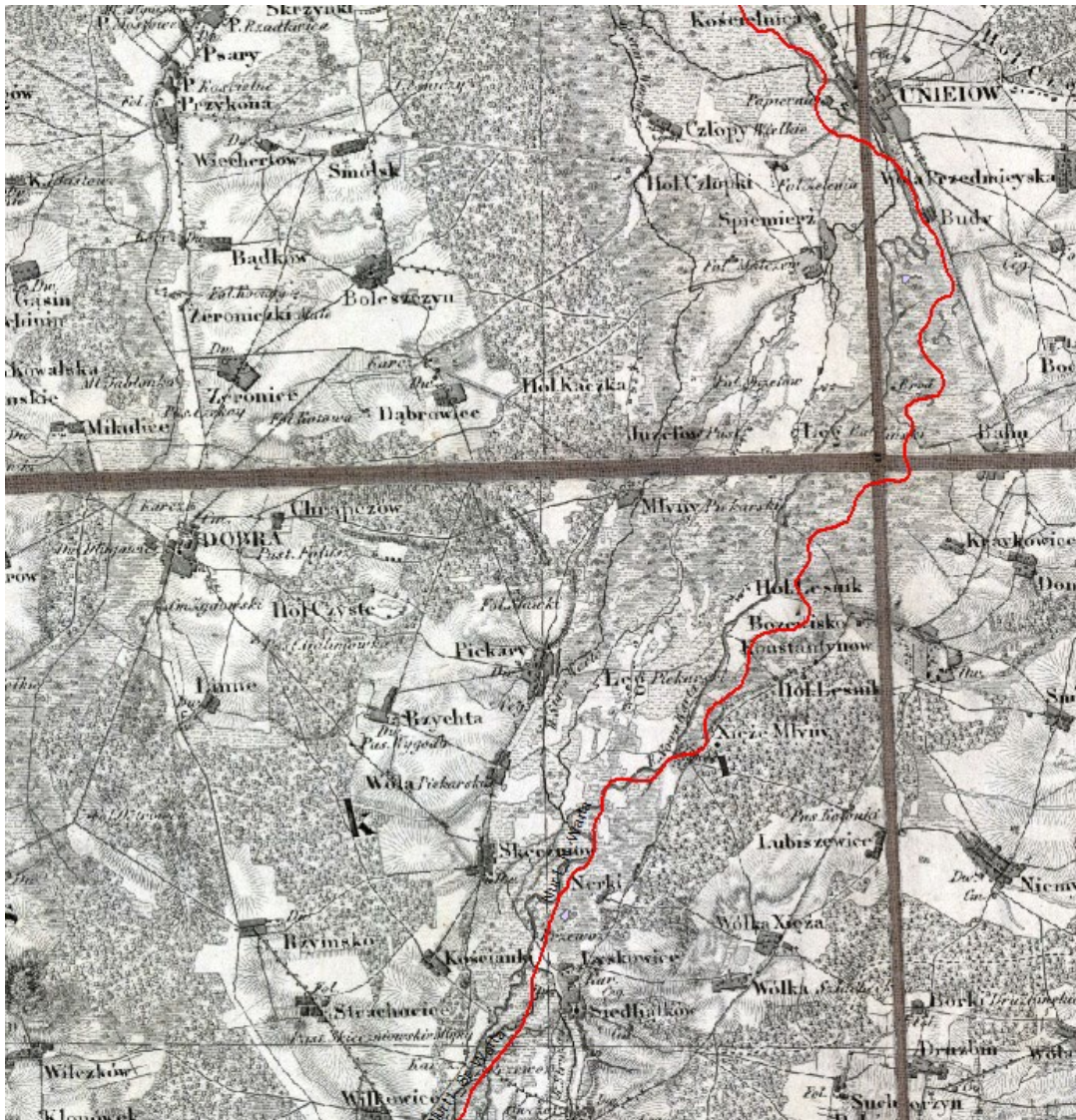
wy materiału do koryt i sprzyjał funkcjonowaniu systemu wielokorytowego (Krzyszowski 1988; Petera-Zganiacz, Forsyś 2012).

Ukształtowany w młodszym dryasie system wielokorytowy został reaktywowany w młodszym holocenie. Utrzymywał się w średniowieczu i wiekach późniejszych, jednakże mieszkańcy doliny starali się go ograniczać, na przykład zasypując niektóre fragmenty koryt. Wyraźniejsze zmiany układu koryt nastąpiły w dolinie środkowej Warty od XVIII wieku, a szczególnie w I połowie wieku XIX, kiedy to osadnicy ołędzcy zagospodarowali już znaczne jej obszary (Forsyś i in. 2004, 2007).

Przemiany rzeźby fluwialnej w ciągu ostatnich dwóch stuleci

Mimo zaznaczania się w dolinie Warty wyraźnych śladów działalności człowieka od okresu brązu, bardziej intensywne zmiany antropogeniczne następują w I połowie XIX wieku poprzez rozwój w dnie doliny osadnictwa wiejskiego i różnego rodzaju zabiegi hydrotechniczne zmierzające do redukcji aktywnych koryt rzeki wielokorytowej.

Analiza map topograficznych z XIX wieku ukazuje między innymi zmniejszanie się liczby koryt Warty od I połowy XIX wieku (np. Gilly



Rys. 4. System wielokorytowy Warty w I połowie XIX wieku między Skępczniewem a Uniejowem uwidoczniiony na Mapie Kwatermistrzostwa (1822–1843, fragment arkusza 10 – Łęczycza). Czerwoną linią zaznaczono współczesne (z 2021 roku) pojedyncze koryto

The multi-channel system of the Warta River in the first half of the 19th century between Skępczewo and Uniejów, shown on the “Quartermaster’s Map” (1822–43, fragment of sheet 10 – Łęczycza). Red line marks the modern (2021), single riverbed

Zmiany krętości nurtu Warty w odcinku Woźniki–Uniejów
Changes in sinuosity of the Warta River in the Woźniki–Uniejów section

Źródło danych/ <i>Data source</i>	Krętość głównego nurtu/ <i>Sinuosity of the main riverbed</i>	Typ rozwinięcia koryta/ <i>Shape of the riverbed</i>
Mapa Gilly'ego (1802–1803)	1,37	kręty
Karta Królestwa Polskiego (1822–1831)	1,53	meandrujący
Mapy WIG 1:25 000 (1929–1939)	1,67	meandrujący
Mapa topograficzna 1:10 000 (lata 80. XX w.)	1,48	meandrujący/kręty
(ortofotomapa GUGIK 2009)	1,41	kręty
(ortofotomapa GUGIK 2021)	1,44	kręty

1802–1803; Mapa Kwatermistrzostwa 1822–1843; mapa Reymanna 1:100 000, arkusz Uniejów 1911; Karte des westlichen Russlands 1:100 000, arkusz C35 Sieradz 1921) oraz znaczne migracje koryta głównego – na niektórych odcinkach już pojedynczego (rys. 4; tab. 1).

Zmiany dokonywane w układzie koryt w XIX wieku i do lat 30. XX wieku skutkowały między innymi wzrostem wskaźnika krętości nurtu w korycie głównym do wartości typowej dla rzek meandrujących. Natomiast po zbudowaniu wałów przeciwpowodziowych, co ograniczyło tempo bocznej migracji koryta, wskaźnik ten zaczął stopniowo się obniżać (tab. 1; rys. 5).

W okresie międzywojennym największy wpływ na zmiany w funkcjonowaniu dna dolinnego, w tym parametrów koryta Warty, miała budowa wałów przeciwpowodziowych. Prace te były także kontynuowane po II wojnie światowej, przy czym ich wyraźne nasilenie nastąpiło w związku z realizacją inwestycji retencyjnego Zbiornika Jeziorsko. Wały te budowane są i umacniane także w ostatnich latach, w ramach programów prowadzonych przez Wody Polskie. Przykładem z okolic miasta Warta jest przebudowa prawostronnego wału od granic administracyjnych Sieradza do drogi wojewódzkiej prowadzącej przez Rossoszyce (AGgeo 2024).

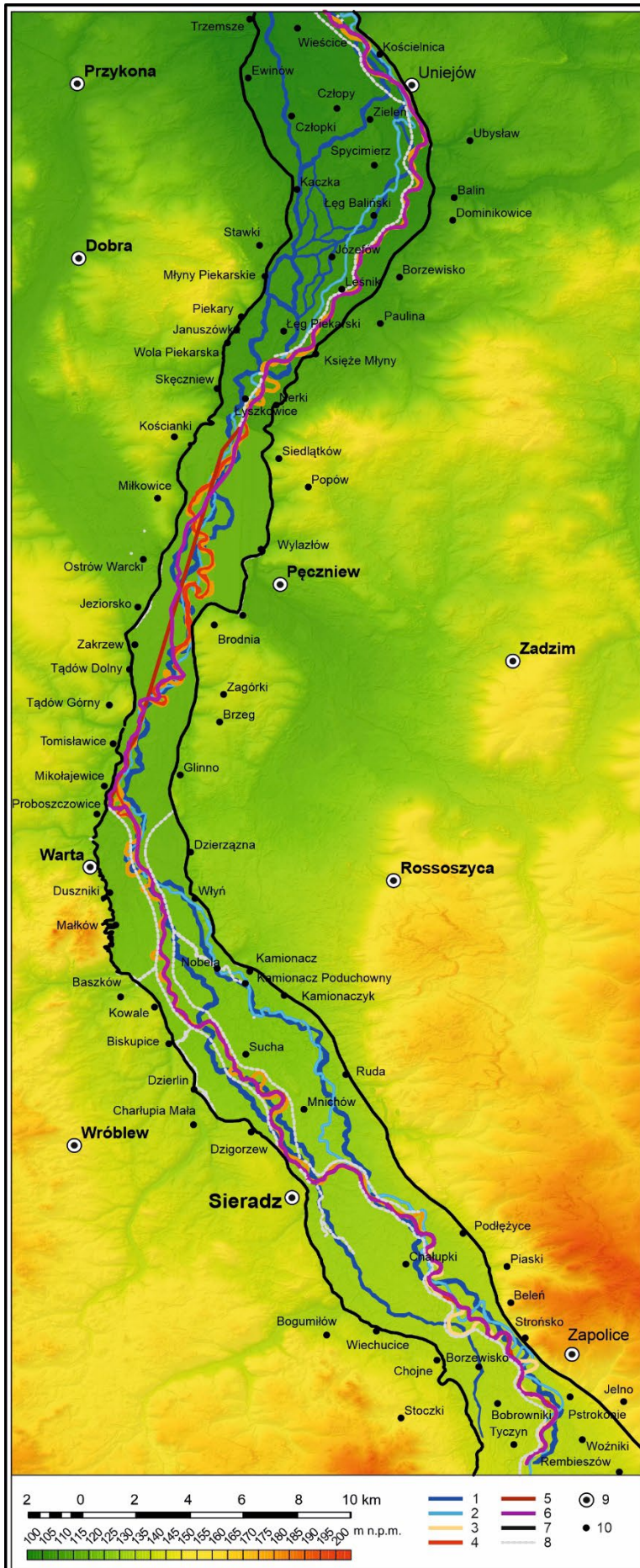
Okresem najbardziej intensywnych przekształceń rzeźby doliny Warty i pokrycia terenu w analizowanym odcinku były lata 1975–1986, kiedy to realizowano budowę Zbiornika Jeziorsko. Prace te przeprowadzono na obszarze wielu jednostek osadniczych, co wymagało między innymi: zlikwidowania 255 zagród wiejskich, przesiedlenia 504 rodzin, ekshumacji około 1300 grobów, przemieszczenia 3,5 mln m³ gruntu, wycięcia drzew (choć nie dokonano dokładnego karczowa-

nia), budowy różnego rodzaju umocnień żelbetonowych, betonowych i ziemnych oraz przeprowadzenia regulacji koryta Warty.

Wkrótce po powstaniu zbiornika doszło do uruchomienia i intensyfikacji procesów brzegowych oraz wzrostu form brzegowych wokół zbiornika, procesów stokowych, w tym obrywów i osuwisk na wybrzeżu wschodnim (Banach, Grobelska 2003; Czarniecki, Goździk 2008; Grobelska 2008; Kaczmarek, Tyszkowski 2009; Kaczmarek 2010ab, 2018; Frydrych 2013); w zasięgu zbiornika rozpoczęła się akumulacja osadów, a w strefie wynurzania się dna i cofki rozpoczęło się przekształcanie dawnego dna doliny w obszar deltowy (Wicher-Dysarz, Dysarz 2016; Wojterska, Ratyńska 2019; Rdzany i in. 2022) (rys. 6, 7).

Zbudowanie zapory czołowej spowodowało nie tylko zmniejszenie się spadku dna koryta i dna dolinnego na południe od zbiornika i pojawienie się efektów sedymentacji, lecz także zmniejszenie się spadku dna koryta poniżej zapory spowodowane erozją denną. Według pomiarów Wierzbickiego i in. (2008) nasilenie erozji miało miejsce w latach 1989–2007, kiedy to tylko na stosunkowo krótkim odcinku od km 483+608 do km 480+080 uśredniony w przekroju poprzecznym poziom dna koryta obniżył się z 2,57 m do 1,22 m. Zmiana profilu podłużnego została udokumentowana na odcinku Warty do wodowskazu Uniejów. Od roku 2005, kiedy to zbudowano pierwszy próg stabilizujący w korycie poniżej zapory, tempo erozji zaczęło maleć. Obecnie działają cztery takie progi.

Jest rzeczą charakterystyczną, że w kilka lat po rozpoczęciu budowy (widocznej na zdjęciu w 1979 roku; por. rys. 7) z powodu zniszczenia pokrywy roślinnej uwydatniły się liczne naturalne formy dna doliny, na przykład paleomeandry oraz



Rys. 5. Zmiany przebiegu nurtu (głównego) koryta Warty od XIX wieku

Zrekonstruowane nurty z XIX wieku zaznaczono zimnymi barwami,

XX-wieczne – ciepłymi:

1 – 1802–1803,

2 – 1822–1831,

3 – 1929–1939,

4 – lata 80. XX wieku,

5 – 2009,

6 – 2021,

7 – granica dna doliny Warty (z terasą nadzalewową niższą),

8 – wały przeciwpowodziowe,

9 – miasta i większe wsie,

10 – inne miejscowości

Changes in the course of the (main) Warta riverbed since the 19th century

Reconstructed 19th century currents are marked with cold colours,

20th century ones with warm colours:

1 – 1802–03,

2 – 1822–31,

3 – 1929–39,

4 – 1980s–20th century,

5 – 2009,

6 – 2021,

7 – border of the Warta valley bottom,

8 – flood embankments,

9 – cities and larger villages,

10 – other villages

dawne obiekty antropogeniczne. Wyraźne nadal były drogi polne, ścieżki czy ślady po rzędach wyciętych drzew towarzyszących drogom w postaci licznych karp (rys. 6), a także resztki zabudowy wysiedlonych gospodarstw. Obecnie zarówno formy naturalne, jak i różne pozostałości działalności ludzkiej nadal są widoczne, ale głównie w części, która wynurza się od końca jesieni do wiosny. Na pozostałym, w większości lądowym obszarze obiekty te maskuje roślinność, jednakże analiza modelu lidarowego pozwala na rozpoznanie zarysu wielu form lub obiektów antropogenicznych (por. rys. 7 i 8). Widoczne na ortofotomapach

wyraźne linijne przerwy w grupach roślinności wysokiej to w większości starorzecza i paleokoryta lub inne obniżenia dawnego dna doliny. W okresie wysokich stanów pełnią one rolę aktywnych koryt. Utrzymywanie się czytelności zarysów form naturalnych i obiektów antropogenicznych wskazuje na stosunkowo cienkie i współkształtne powleczenie ich osadami w strefie cofki.

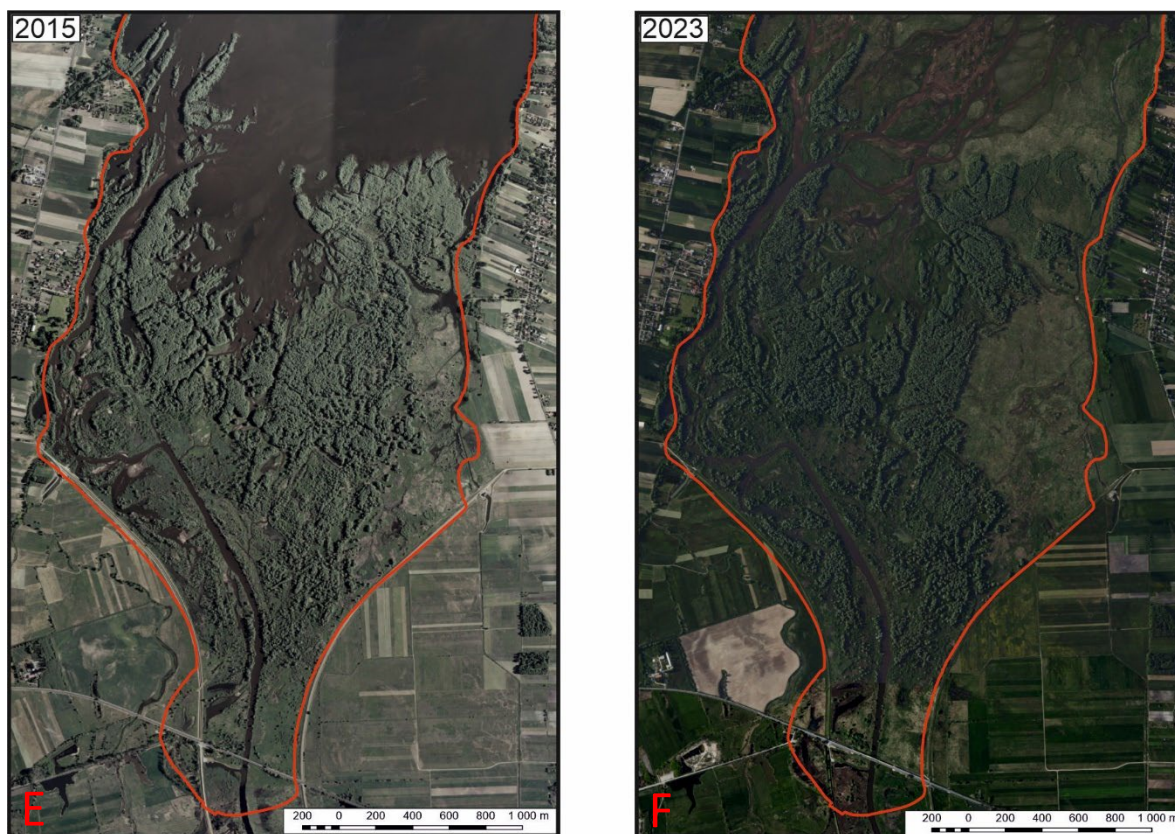
Analiza skromnych materiałów w postaci zdjęć lotniczych z okresu budowy zbiornika ukazuje niewielkie tempo akumulacji osadów na terenie jego cofki.



Rys. 6. Północna, wynurzona część delty między miejscowościami Tądów i Brodnia
A – widok na północ na system koryt i piaszczyste łachy
B – fragment delty jak wyżej z widocznymi rzędami karp
(fot. M. Kossowski 2022)

Northern, emerged part of delta between villages of Tądów and Brodnia
A – view to north of distribution channel system and sandbars
B – fragment of delta as above showing rows of carps





Rys. 7. Porównanie obrazu delty na zmozaikowanych zdjęciach lotniczych sprzed budowy zbiornika (A – 1958 rok) oraz na ortofotomapach z bazy GUGIK z okresu budowy (B – 1979 rok) i po uruchomieniu zbiornika (C – 2004, D – 2009, E – 2015, F – 2023)

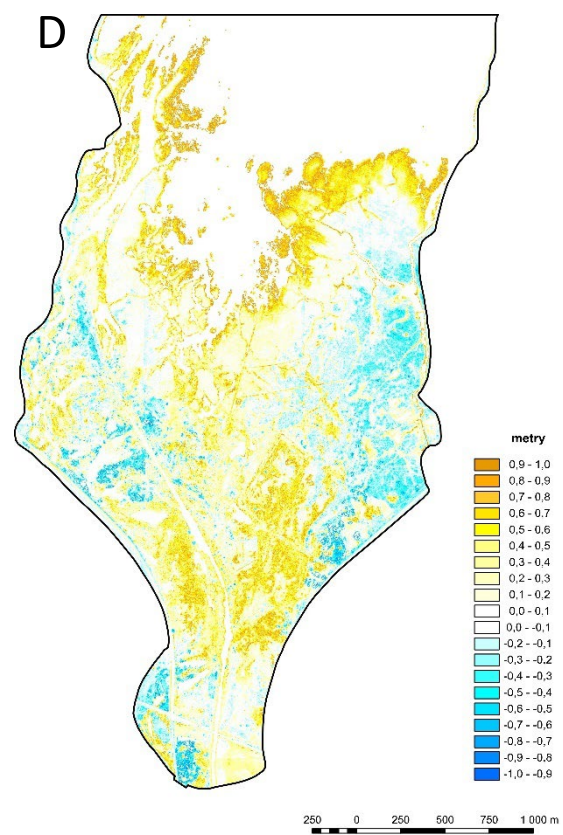
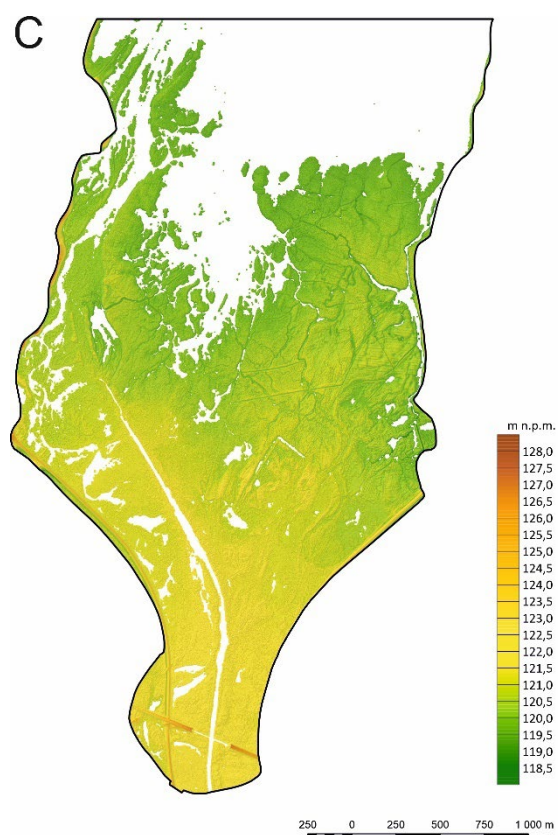
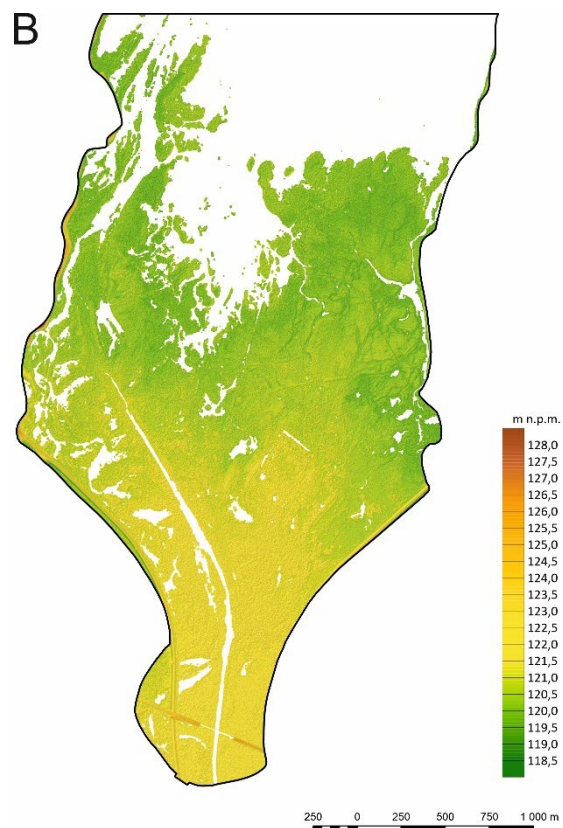
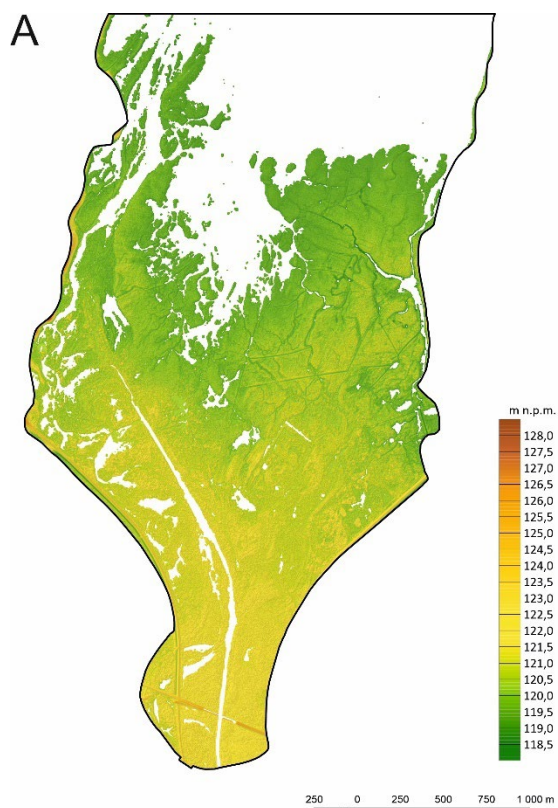
Comparison of image of delta on mosaicked aerial photos in the area of the current delta before construction of reservoir (A – 1958), and on orthophotomaps from the GUGIK database from the construction period (B – 1979) and after the reservoir was launched (C – 2004, D – 2009, E – 2015, F – 2023)

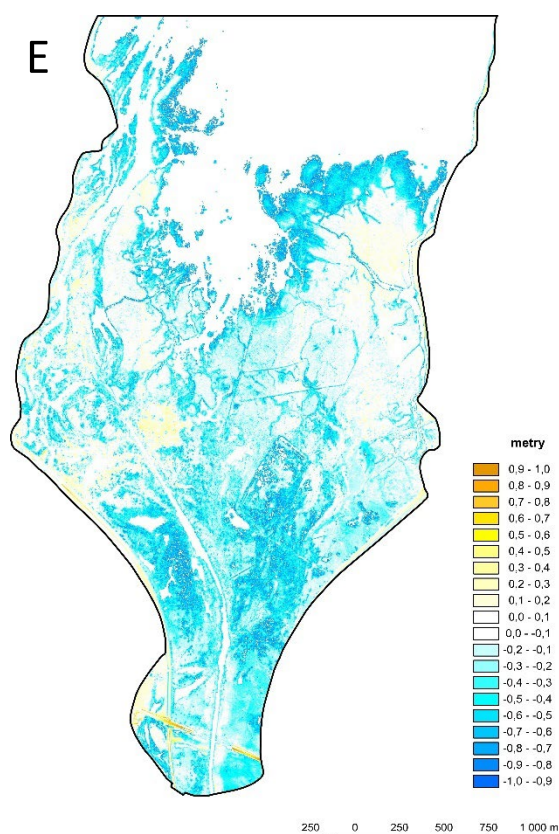
W okresie od uruchomienia zbiornika stosunkowo duży wpływ, choć niejednakowy, na ukształtowanie morfologii delty wywarły dwa zdarzenia powodziowe w latach 1997 i 2010. W pierwszym przypadku po powodzi doszło głównie do zmian geometrii zbiornika w strefie cofki. Materiał rumowiskowy osadził się w największej ilości w górnej części zbiornika, a pochylenie zwierciadła wody w tej części się zmniejszyło. Badania Wicher-Dysarz i Dysarza (2016) po sześciu latach od tego zdarzenia wykazały ślady niewielkiej erozji w strefie cofki zbiornika oraz przemieszczenie się koryta ku jego centrum.

Więcej informacji można ustalić w odniesieniu do skutków powodzi w 2010 roku, między innymi na podstawie danych LiDAR pochodzących z nalołów z lat 2009 i 2011. Wyniki porównania obydwu modeli zostały zaprezentowane w innej publikacji (Rdzany i in. 2022). W skrócie – badania te dowiodły, że badany obszar lądowy cofki o powierzchni około 500 ha został pokryty naniesionym rumowiskiem o objętości około

668 tys. m³, co oznacza średnio 15-centymetrową akumulację (rys. 7A, B, D). Lokalnie powierzchnia terenu podniosła się nawet o 0,7–1,0 m, zwłaszcza wokół skupisk krzewów i pni lub karp drzew. Ślady erozji stwierdzono w środkowo-zachodniej i środkowo-wschodniej części delty. Autorzy zastrzegli w interpretacji wyników, że wartość akumulacji może być przeszacowana z uwagi na „zamaskowanie” roślinności osadami wezbraniowymi jeszcze w kilka miesięcy po wystąpieniu procesu. Możliwości dokładnego zweryfikowania poprawności danych lidarowych z 2011 roku były aż do kolejnych nalołów w 2022 roku bardzo ograniczone.

Model różnicowy rzeźby terenu opracowano także dla okresu 2011–2022 i obszaru cofki o powierzchni nieco ponad 500 ha (5 021 733 m²) (rys. 8E). Podobnie jak w poprzednim opracowaniu ze względu na możliwość wystąpienia błędów trudnych do oszacowania autorzy zrezygnowali z objęcia analizą terenów zajętych przez wodę w trakcie skanowania laserowego. Wynik obli-





Rys. 8. Ukształtowanie terenu cofki Jeziorsko i jego zmiany w latach 2009–2022.

A, B i C – rzeźba obszaru lądowego odpowiednio w latach:

A – 2009, B – 2011, C – 2022.

D i E – modele różnicowe:

D dla lat 2009–2011, E – dla lat 2011–2022

Topography of backwater area of Jeziorsko Reservoir and its changes in 2009–22.

A, B and C – relief of the land area in the years:

A – 2009, B – 2011, C – 2022, respectively.

D and E – differential models:

D for the years 2009–11,

E – for the years 2011–22

czeń wskazuje, że obszar, gdzie nie zanotowano istotnych zmian lub mieszczą się one w zakresie błędu pomiaru (od -0,1 m do 0,1 m) zajmuje około 157 ha, co stanowi 31,2% badanej powierzchni. Dominują obszary, gdzie teren się obniżył o ponad 0,1 m – zajmują one 307,4 ha (61,2%). Udział terenów obniżonych od -0,1 m do -0,3 m jest największy i wynosi 25,2%, udział terenów obniżonych od -0,3 m do -0,5 m wynosi 15,5% i spada w następnych przedziałach – do 3,2% w zakresie od -0,9 m do -3,8 m. Te najbardziej obniżone miejsca to drugorzędne koryta w zachodniej i we wschodniej części delty, gdzie przy wyższych stanach wody może dochodzić do przyspieszenia przepływu i lokalnej erozji. Częściowo wynikać to może z osiadania rumowiska na podścielających osadach organicznych lub mineralno-organicznych wypełniających zasypane paleokoryta. Niektóre z tych paleokoryt są widoczne na zdjęciu z 1979 roku. Niewielkie fragmenty powierzchni na południu analizowanego terenu, gdzie zarejestrowano wyjątkowo duże zmiany, to także miejsca prac ziemnych (rys. 7). Obszar podwyższonej powierzchni o co najmniej 0,1 m zajmuje 37,5 ha, a więc jego udział w obrębie badanej części delty osiąga 7,5%, przy tym 6,8% to teren podniesiony od 0,1 m do 0,3 m. Miejsca, których rzędne wzrosły od 0,9 m do 2,5 m zajmują zaledwie około 0,8 ha (0,15%). Te rekordowe podniesienia po-

wierzchni terenu autorzy przypisują prawie wyłącznie działalności antropogenicznej, w szczególności w przypadku sąsiedztwa wałów i nasypów.

Porównanie modeli różnicowych z lat 2011 i 2022 (dane odpowiednio: 2009–2011 i 2011–2022) ukazuje główną prawidłowość polegającą na tym, że miejsca najbardziej nadbudowane akumulacją powodziową w 2010 roku, występujące w centralnej części cofki i w strefie okalającej bezpośrednio stale zalaną część zbiornika, na modelu z 2022 roku najbardziej się obniżyły. Oznacza to redukcję skutków powodzi w kolejnych latach po jej wystąpieniu – ogólnie największą w obszarze największej akumulacji i najmniejszą w miejscach niewielkiej akumulacji. Jest to skutkiem naturalnej kompaktacji świeżo złożonych osadów. Autorzy przewidywali, że dane LiDAR uzyskane z nalołów w kilka miesięcy po powodzi trudno jednak było wówczas dokładniej to ocenić (Rdzany i in. 2022).

Charakterystyczna „chropowatość” powierzchni terenu, oznaczająca lokalne zwiększenie miąższości osadów, występująca na mapie z modelem różnicowym z lat 2009–2011 (rys. 8D), nie jest już widoczna na obrazie z 2022 roku, a nawet widać tam miejsca obniżone. Zważywszy że były tam najczęściej skupienia roślinności niskiej



Rys. 9. Okolice miejscowości Brodnia.

Osady mułowo-piaszczyste i mineralno-organiczne po obniżeniu wysokiego stanu wody w Zbiorniku Jeziorsko (fot. Z. Rdzany 2013)

The vicinity of Brodnia.

Mud-sandy mineral-organic sediments after lowering the high-water level in Jeziorsko Reservoir

– szuwarowej lub krzewy, jest to potwierdzenie przypuszczenia z poprzedniej publikacji (Rdzany i in. 2022), że znaczna ilość rumowiska osadzona na roślinności mogła zakłócać precyzję pomiaru laserowego z 2011 roku. Zdarza się też niezależnie od wezbrania, że po wysokim stanie wody w sezonie letnim odsłonięta roślinność pokryta jest osadem mineralno-organicznym, który długo utrzymuje się na pniach, konarach i liściach, a także tworzy lokalne nagromadzenia, między innymi w postaci cieni piaszczysto-mułowych między roślinami (rys. 9). Poza tym inne miejsca obniżone na obrazie z 2022 roku należy tłumaczyć ciągłą kompaktacją osadów delty i ogólną tendencją obszaru delty do subsydencji.

Chociaż delta powstała w wyniku działalności człowieka, stała się formą rzeźby, rozwijającą się wprawdzie w warunkach ograniczeń narzuconych przez człowieka (wały przeciwpowodziowe, przepusty i inne urządzenia hydrotechniczne), to działają tu obecnie prawie wyłącznie procesy naturalne. Szczególnie sprzyja temu istnienie Rezerwatu Przyrody Jeziorsko, ustanowionego w 1998 roku (CRFOP 2024).

Dyskusja i podsumowanie

Zasiedlany co najmniej od epoki brązu obszar doliny Warty w analizowanym odcinku był w przypadku form fluwialnych nieznacznie zmieniany do I połowy XIX wieku, kiedy to na większą skalę zaznaczyła się próba „uporządkowania” rzeki Warty w związku z potrzebami prowadzenia gospodarki. Po okresie kryzysu po potopie szwedzkim i rozbiorach nastąpiło znaczące ożywienie gospodarcze, w tym rolnictwa i przemysłu spożywczego. Niebagatelną rolę odegrała tu ludność napływowa związana z osadnictwem olęderskim, która wprawdzie już wcześniej zaczęła się osiedlać w dolinie Warty (jeszcze w XVIII wieku), ale istotny wpływ na funkcjonowanie Warty i jej dna dolinnego wywarła w XIX wieku.

Wprowadzane znaczne modyfikacje systemu rzeczno-teraszowego, zmiana użytkowania obszarów teras rzecznych (powiększenie się powierzchni gruntów zmodyfikowanych przez człowieka), widoczne nawet na niezbyt dokładnych mapach topograficznych, mogą być argumentami za przyję-

ciem początków nieformalnej epoki antropocenu w tym obszarze około 200 lat temu. Należy zauważyć, że ta opinia jest zgodna z wynikami badań innych dolin środkowej Polski co do intensyfikacji zmian środowiskowych (Forysiak i in. 2004, 2007; Twardy 2008). Twardy (2008) określa ostatnie 200 lat jako wyodrębniającą się wyraźnie fazę transformacji rzeźby środkowej Polski, w kolejności VII – najmłodsza.

Jak powszechnie wiadomo, nadal toczy się dyskusja nad uznaniem antropocenu od czasu propozycji Crutzena i Stoermera (2000) jako odrębnej, oddzielonej od holocenu epoki geologicznej. Koncepcja ma po dziś dzień zarówno zwolenników, jak również przeciwników (m.in. Goudie, Viles 2016). Jednym z ważniejszych pomysłów jest przyjęcie cezury rozpoczęcia ery atomowej, to jest uznanie, że początek tej epoki jest równoległy z rozprzestrzenieniem się na początku lat 50. XX wieku na całym globie pierwiastków promieniotwórczych związanych z pierwszymi próbami nuklearnymi. Jeszcze inne koncepcje odwołują się do początków wzmożonej urbanizacji, globalizacji oraz rozwoju technologii. Często badacze opierają się na stwierdzeniu szczególnego – czy zdecydowanie dominującego – wpływu działalności człowieka na systemy przyrodnicze, zwłaszcza w środowisku dolin rzecznych. Jednakże, Międzynarodowa Komisja Stratygraficzna ogłosiła w marcu 2024 roku decyzję nieuznającą antropocenu za odrębną od holocenu epokę geologiczną (Stratigraphy 2024). Decyzja ta odsuwa dyskusję na co najmniej dekadę, jednakże warto zauważyć, że pojęcie antropocenu jako nieformalne pojęcie, stosowane regionalnie, może być bardzo użyteczne.

Analiza zmian systemu koryt i inne zmiany środowiskowe w dolinie Warty skłaniają do uznania I połowy XIX wieku jako początku nasilonej antropopresji, która trwa do dziś, i jest określaną nieformalnym pojęciem antropocenu, w tym miejscu rozumianego jako najmłodsza część epoki holocenu. Należy podkreślić, że dekada lat 50. XX wieku nie zaznaczyła się w badanej części doliny Warty tak przełomowymi zmianami funkcjonowania procesów fluwialnych, które mogłyby wspierać koncepcję Crutzena i Stoermera (2000) wyznaczenia początku antropocenu w tym czasie i wyłączenia antropocenu z holocenu jako samodzielnej epoki geologicznej.

Rozpoczęta w okresie międzywojennym budowa wałów przeciwpowodziowych w dolinie Warty sprawiła, że stały się one głównymi obiektami stabilizującymi pas meandrowania. Dodatkowymi elementami stabilizującymi koryto Warty są

sztuczne ostrogi, których obecność zmniejsza krętość nurtu i tempo erozji na wklęsłych brzegach zakoli. Między obszarem zawala i międzywala zaznaczają się coraz wyraźniej zmiany procesów morfogenetycznych oraz przekształcenia innych elementów środowiska.

Obszarem najbardziej intensywnych przekształceń morfogenetycznych oraz innych zmian środowiskowych stał się od połowy lat 70. XX wieku obszar między miastem Warta a Siedlątkowem, gdzie zbudowano Zbiornik Jeziorsko. Przekształcenia dna doliny związane z tą inwestycją zmieniły intensywność procesów fluwialnych i uruchomiły procesy do tej pory niewystępujące na tym obszarze, na przykład abrazję brzegową. Na terenie delty stwierdzono dużą intensywność procesów naturalnych, zwłaszcza w czasie ekstremalnych wezbrań.

Jak wspomniano, badania skutków powodzi za pomocą modeli GRID z lat 2011 i 2022 wyraźnie pokazały, że w okresie przeciętnych wahań poziomu zbiornika bez wezbrań dochodzi jedynie do lokalnej akumulacji (o udziale kilkuprocentowym) w obrębie delty. Procesy odkładania rumowiska związane są z miejscami, gdzie następuje nagły spadek siły nośnej wody. Ślady wyraźniejszej akumulacji mułów i piasków występują więc przy zakończeniu wyprostowanej części głównego koryta około 600–1200 m na wschód od drogi prowadzącej przez Proboszczowice. Podobny „minideltowy” obszar akumulacji rumowiska wytworzył się 200–500 m na NW od schronu we wsi Glinno, gdzie rozdziela się koryto Niniwki, płynącej do tego miejsca wzdłuż podnóża wschodniego stoku doliny. Inne drobne zmiany morfologiczne powierzchni delty to pośrednie lub bezpośrednie skutki przebudowy budowli ziemnych i towarzyszących im konstrukcji oporowych (głównie wałów i nasypów drogowych).

Jak już wspomniano, na pozostałym obszarze o największej akumulacji odnotowano obniżenie się powierzchni maksymalnie do 0,3–0,5 m lub nie odnotowano istotnych zmian. Szczegółowa analiza tych miejsc na modelach, ortofotomapach, zdjęciach z drona oraz w wyniku rekonesansowych obserwacji w terenie pozwala wyróżnić trzy przyczyny obniżania się powierzchni delty w okresie po akumulacji powodziowej z 2010 roku.

Po pierwsze nastąpiła kompaktacja aluwii powodziowych oraz podścielających je starszych osadów mineralnych (przeważających) i organicznych (głównie występujących w paleomeandrach).

Po drugie nastąpiło zmycie, głównie przez deszcze, osadów powodziowych pozostałych po wysokich stanach wody na roślinach. Wiele z tych roślin wracało do naturalnych pozycji dopiero po kilku, a nawet po kilkunastu miesiącach. Na modelu opracowanym na podstawie danych z 30 marca 2011 roku nagromadzenia roślin z osadami tworzyły nadal rodzaj drobnych pagórków. W trakcie późniejszych badań było to trudne do zweryfikowania.

Po trzecie zachodziła okresowo i sporadycznie deflacja, której ulegały osady pyłowo-piaszczyste na powierzchni delty niechronione roślinnością, w wyniku silnych wiatrów (z reguły silniejszych niż w otoczeniu zbiornika), co można zaobserwować zwłaszcza w zimie, kiedy nie sprzyja temu procesowi dodatkowo niski stan wody w zbiorniku.

Dane LiDAR, wykorzystane w poprzedniej publikacji poświęconej skutkom powodzi z 2010 roku (Rdzany i in. 2022), pochodzą z nalołu z 30 marca 2011 roku, a więc z okresu 9–10 miesięcy od powodzi. Jak się okazało, nie był to wystarczający czas do najbardziej precyzyjnej oceny skutków tego zdarzenia. W następującej po nim dekadzie nie odnotowano wezbrania, więc należy uznać model terenu z 2022 roku za bardziej precyzyjnie ukazujący zaistniałe skutki powodzi z uwzględnieniem okresu najszybszej kompaktacji.

Autorzy zdają sobie sprawę z potrzeby uszczegółowienia w dalszych badaniach danych nie tylko dotyczących kompaktacji, lecz także co do innych procesów wpływających na sedymentację osadów strefy cofki, na przykład przydatne byłyby ilościowe badania procesów eolicznych w obszarach bez pokrywy roślinnej.

Wnioski

- Choć wyraźne ślady działalności ludzkiej w badanym odcinku dna doliny Warty pojawiły się już w epoce brązu, bardziej intensywne zmiany geomorfologiczne związane z antropopresją zapisały się w ciągu ostatnich dwóch stuleci.
- Podobieństwo nasilenia zmian antropogenicznych w różnych dolinach środkowej Polski pozwala rozważyć postulat przyjęcia I połowy XIX wieku jako początku antropocenu, rozumianego jako regionalna i nieformalna jednostka będąca najmłodszą częścią holocenu.
- Z poprzednich badań autorów (Rdzany i in. 2022) wynikało, że okres pięćdziesięcioprocentowego wypełnienia zbiornika osadami do

maksymalnego poziomu (101 mln m³) wynosi 302 lata. Po uwzględnieniu zjawiska kompaktacji i ubytków deflacyjnych oraz innych zmian morfologii cofki należy przyjąć liczbę lat na około 200.

Autorzy serdecznie dziękują Recenzentom za cenne uwagi i sugestie zmian.

Literatura

- AGgeo (AG Geosynthetics). 2024. Online: <https://www.ag-geo.eu/realizacje> (data ostatniego dostępu: 05.04.2024).
- Banach M., Grobelska H. 2003. Stan dynamiki brzegów zbiornika Jeziorsko. *Śląskie Prace Geograficzne* 1: 91-106.
- CRFOP (Centralny Rejestr Form Ochrony Przyrody). 2024. Online: <https://crfop.gdos.gov.pl/CRFOP/widok/viewrezerwatprzyrody.jsf?fop=PL.ZIPOP.1393.RP.710> (data ostatniego dostępu: 07.04.2024).
- Crutzen P.J., Stoermer E.F. 2000. The “Anthropocene”. *IGBP Global Change Newsletter* 41: 17-18.
- Czarnecki L., Goździk J. 2008. Osuwiska w województwie łódzkim i ich szczególny charakter w wyrobisku KEB „Bełchatów”. *Acta Universitatis Lodzianae. Folia Geographica Physica* 8: 165-183.
- Forysiak J. 2005. Rozwój doliny Warty między Burzeninem i Dobrowem po zlodowaceniu warty. *Acta Geographica Lodzianae* 90: 1-116.
- Forysiak J., Kulesza M., Twardy J. 2004. Wpływ osadnictwa olęderskiego na sieć rzeczną i morfologię międzyrzecza Warty i Neru. W: III Warsztaty Terenowe „Zapis działalności człowieka w środowisku przyrodniczym”. Uniwersytet Warszawski, 20–22.05.2004, Warszawa: 9.
- Forysiak J., Kulesza M., Twardy J. 2007. Wpływ osadnictwa olęderskiego na sieć rzeczną i morfologię międzyrzecza Warty i Neru. W: E. Smolska, P. Szwarczewski (red.) *Zapis działalności człowieka w środowisku przyrodniczym*. Tom III. Wyd. SWPR, Warszawa: 39-45.
- Frydrych M. 2013. Wybrzeże klifowe zbiornika Jeziorsko i jego znaczenie w badaniach geomorfologicznych i paleogeograficznych. *Acta Universitatis Lodzianae. Folia Geographica Physica* 12: 117-125.

- Geoportal (Infrastruktura Informacji Przestrzennej). 2024. Online: geoportal.gov.pl (data ostatniego dostępu: 05.04.2024).
- Gilly D. 1802–1803. Special Karte von Südpreussen. Approx. 1:150 000. Simon Schropp und Comp., Berlin.
- Goudie A.S., Viles H.A. 2016. *Geomorphology in the Athropocene*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Grobelska H. 2008. Funkcjonowanie sztucznego wodnego a rezerwat przyrody na przykładzie Zbiornika Jeziorsko. W: J. Partyka, J. Pociask-Karteczka (red.) *Wody na obszarach chronionych*. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Ojcowski Park Narodowy, Komisja Hydrologiczna PTG, Kraków: 287-293.
- Jaskulski M., Łukasiewicz G., Nalej M. 2013. Porównanie metod transformacji map historycznych. *Roczniki Geomatyki* 11,4(61): 41-57.
- Kaczmarek H. 2010a. Analiza zdjęć lotniczych oraz wyników pomiarów geodezyjnych w badaniach dynamiki strefy brzegowej sztucznych zbiorników wodnych – zbiornik Jeziorsko, rzeka Warta. *Landform Analysis* 13: 19-26.
- Kaczmarek H. 2010b. Development of the shore zone of the Jeziorsko reservoir (the Warta River, central Poland). *Geomorphologia Slovaca et Bohemica* 1: 16-24.
- Kaczmarek H. 2018. Ewolucja strefy brzegowej nizinnych zbiorników zaporowych w warunkach dużych wahań poziomu wody na przykładzie Zbiornika Jeziorsko na Warcie. *Prace Geograficzne Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN* 265.
- Kaczmarek H., Tyszkowski S. 2009. The use of the aerial and ground photogrammetry in the Jeziorsko Reservoir shore zone monitoring (the Warta River, central Poland). *Geomorphologia Slovaca et Bohemica* 2: 7-12.
- Krzyszowski A. 1988. Osadnictwo neolityczne i wczesnobrązowe na terenach zalewowych zbiornika „Jeziorsko”. Aspekt przestrzennofunkcjonalny. W: *Badania archeologiczne pracowni konserwacji zabytków. Studia i materiały*, Warszawa: 269-288.
- Mapa Kwaternarzystwa (Topograficzna Karta Królestwa Polskiego). 1822–1843.
- Mapster (Mapy archiwalne Polski i Europy Środkowej). 2024. Online: <http://igrek.amzp.pl/maplist.php?cat=REYMANN200> (data ostatniego dostępu: 05.04.2024).
- Mapy Geoportal (Infrastruktura Informacji Przestrzennej). 2024. Online: https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/Imgp_2.html (data ostatniego dostępu: 05.04.2024)
- Petera-Zganiacz J., Forsyś J., 2012. Historia rozwoju doliny Warty w basenie uniejowskim. *Biuletyn Uniejowski* 1: 23-41.
- Rdzany Z., Szmidt A., Frydrych M., Kossowski M. 2022. Wpływ powodzi z 2010 roku na morfologię południowej części dna Zbiornika Jeziorsko. *Acta Geographica Lodziensia* 112: 77-95.
<https://doi.org/10.26485/AGL/2022/112/6>
- Solon J., Borzyszkowski J., Bidłasik M., Richling A., Badora K., Balon J., Brzezińska-Wójcik, T., Chabudziński Ł., Dobrowolski R., Grzegorzczak I., Jodłowski M., Kistowski M., Kot R., Kraż P., Lechnio J., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papińska E., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziaja W. 2018. Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geographia Polonica* 91(2): 143-170.
- Stratigraphy (The International Commission on Stratigraphy). 2024. Online: <https://stratigraphy.org/> (data ostatniego dostępu: 27.03.2024).
- Szmidt A. 2015. Ocena przydatności archiwalnych materiałów kartograficznych dla analiz paleopowierzchni wykonywanych w technikach GIS na obszarze Polski Środkowej. *Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Physica* 14: 63-68.
- Twardy J. 2008. Fazy transformacji rzeźby środkowej Polski w warunkach antropopresji w świetle badań geosystemów eolicznych, stokowych i rzecznych. *Landform Analysis* 9: 324-328.
- Ustawa z dnia 20 lipca 2017 – Prawo wodne; Dz.U. 2023 poz. 1478.*
- Wicher-Dysarz J., Dysarz T. 2016. Analiza procesu akumulacji rumowiska w górnej części zbiornika Jeziorsko. *Gospodarka Wodna* 9: 292-298.
- Wierzbiński M., Hammerling M., Przedwojski B. 2008. Przebieg procesu erozji poniżej zbiornika Jeziorsko na rzece Warcie. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 17(2): 136-145.

Wojterska M., Ratyńska H. 2019. Zróżnicowanie przestrzenne roślinności obszarów zalewowych strefy ujścia rzeki Warty do zbiornika Jeziorsko. *Przegląd Geograficzny* 91(3): 385-404.

Wojterska M., Ratyńska H. 2019. Zróżnicowanie przestrzenne roślinności obszarów zalewowych strefy ujścia rzeki Warty do zbiornika Jeziorsko. *Przegląd Geograficzny* 91(3): 385-404.

Założenia redakcyjne wykonania kartograficznych opracowań tematycznych w postaci cyfrowej mapy geomorfologicznej w rozdzielczości odpowiadającej skali przeglądowej 1:500 000 w zakresie, o którym mowa w §2 pkt 1 lit. C rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 3 października 2011 r. w sprawie rodzajów kartograficznych opracowań tematycznych i specjalnych. Praca zbiorowa. 2021. Gepol Sp. Z o.o., Instytut Geodezji i Kartografii, Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Poznań.

Summary

The aim of the study was to analyse geomorphological changes, with particular emphasis on the morphometry of the section of the Warta River valley bottom between Woźniki and Uniejów since the early 19th century. A characteristic feature of the selected fragment of the valley is the strong differentiation of the environment in terms of the influence of anthropogenic and natural factors. The process of changes in land cover objects resulting from morphogenetic processes was also taken into account.

The present-day outline of the valley began to take shape already in the late part of the Warta glaciation in a strong dependence on the features of the sub-Cenozoic bedrock as well as Pleistocene sediments. This is expressed in the form of a Late-Wartanian isolated flattening with traces of erosional processes. The Lower-Plenivistulian level is also discontinuous and is formed by sediments of a sandy braided river reaching a thickness of 10 metres. The next valley level dates from the younger Dryas and is associated with a multi-channel drainage. It is mainly composed of sands and silts. At the transition of the Vistulian to the Holocene, there was a phase of strong erosion, which may have marked the Atlantic period in places. The Holocene bed pattern is marked by the predominance of anastomosing riverbeds over meandering ones. The Meso-Holocene is characterised by a slow aggradation of the valley floor,

while the Neo-Holocene is much faster. This is when, among other things, muds and embayments were formed in the dominant multi-channel outflow system. From the Bronze Age onwards, there was a development of settlements whose activities resulted in an increased supply of material to the riverbed, which favoured the multi-channel system. This situation lasted until the 18th, when drainage works were intensified with the arrival of the Olęder settlers (Forysiak *et al.* 2004, 2007). Since this period, there has been a systematic disappearance of the multi-channel river drainage and the natural landscape for this section of the river valley (Krzyszowski 1988; Forysiak 2005; Petera-Zganiacz, Forysiak 2012).

Several data sources were used to document and investigate the progressive changes in the river valley image over the last two centuries. First of all, these were archival maps from the 19th century and the first half of the 20th century. In order to be able to process them in Geographical Information Systems (GIS), these materials were geo-referenced with modern data. Scans of analogue aerial photographs from 1958–79 were then used, which, as with the maps, were given georeferences and then merged. Selected content from these sources was digitised and parameters describing changes in the course of the stream were then calculated from these. Orthophotos of aerial photographs from 2004–23 and satellite images

from 2015–22 from the Sentinel-2 mission and from 2009–11 from the Landsat programme (Landsat 5 satellite) were also used to calculate changes in the river valley in more recent and recent times.

The delta of the Jeziorsko Reservoir was studied in detail as an area of the most intense morphometric changes, which included the strong activity of extreme process represented by the 2010 flood. Here, point clouds (LAS) from airborne laser scanning and their outputs were the most important data source. These data were subjected to a process of verification, conversion, vertical and horizontal spatial alignment in order to calculate morphometric parameters. At this stage of the work, drone documentation, including geotagged aerial photographs and orthophotos taken between 2021 and 2022, also proved useful.

Analysis of 19th century maps shows a systematic decrease in the number of river channels, and their concurrent developmental changes from sinuous to meandering. This process continued until the 1930s, when the construction of flood barriers began. The next period, from which significant transformations of the land system of the Warta Valley took place, was the years 1975–86, when the construction of the Jeziorsko Reservoir – Poland's second largest by area and fourth by capacity – was completed. The construction of the reservoir necessitated a series of earthworks involving the extraction of material for the construction of a dam, the shifting of the course of the riverbed and the backfilling of some forms of the valley bottom. At the bottom of the reservoir, a number of settlements were removed along with infrastructure.

The formation of the reservoir also set in motion new geomorphological processes, both in the bottom of the former valley and in the coastal zone of the basin. The reservoir, becoming a new

local erosion base, started to undergo sedimentation, especially in the delta zone (Wicher-Dysarz, Dysarz 2016; Wojterska, Ratyńska 2019; Rdzany *et al.* 2022). Because the reservoir has a retention function and large fluctuations of the water level occur in the reservoir during the year, intensive slope processes such as landslides and landslides have occurred on the east coast (Czarnecki, Goździk 2008; Grobelska 2008; Kaczmarek, Tyszkowski 2009; Kaczmarek 2010ab, 2018).

Extreme events such as floods strongly influence the appearance of the delta zone. The area in question experienced such an event in 2010. A study based on airborne laser scanning data proved that a flood debris volume of ~668,000 m³ was deposited on the landward area of the backwater of ~500 ha, which represents an average accumulation of 15 cm (Rdzany *et al.* 2022). In places such as shrub clusters, where flowing water lost its transport capacity, accumulation raised the ground surface by 0.7–1.0 m.

The study further analysed morphometric data from 2011 and 2022 to determine changes in this zone during the stabilisation period following the extreme flooding. The calculations carried out indicate a lowering trend in this zone. This phenomenon can be explained by the washing away of flood sediments by the rains, both from vegetation and exposed sediments. The compaction of the sediments themselves must also be taken into account as the compaction of the mineral-organic debris. The factor of dust deflation from the exposed part of the delta is also important, especially during winter periods when the low water level in the reservoir favours this.

The construction of river dikes since the interwar period has been important in changing the course of fluvial processes. These had the effect of restricting channel processes, in particular channel migration.