

A c t a Universitatis Lodzensis

FOLIA GEOGRAPHICA PHYSICA

24
2025

pod redakcją
Wojciecha Tołoczko



 **WYDAWNICTWO**
UNIwersYTETU
ŁÓDZKIEGO



A c t a
Universitatis
Lodziensis

FOLIA GEOGRAPHICA PHYSICA

24
2025



WYDAWNICTWO
UNIWERSYTETU
ŁÓDZKIEGO

A c t a Universitatis Lodzensis

FOLIA GEOGRAPHICA PHYSICA

24
2025

pod redakcją
Wojciecha Tołoczko



 WYDAWNICTWO
UNIwersYTETU
ŁÓDZKIEGO

ŁÓDŹ 2025

COPE
Member since 2021
JM15101

REDAKCJA
ACTA UNIVERSITATIS LODZIENSIS. FOLIA GEOGRAPHICA PHYSICA

Wojciech Tołoczko (redaktor naczelny), *Jan Degirmendzić* (redaktor statystyczny)
Agata Walczak-Niewiadomska (redaktor językowy), *Anna Majchrowska* (redaktor tematyczny – geografia fizyczna, geoekologia)
Aleksander Szmidt (redaktor tematyczny – GIS, kartografia cyfrowa), *Marta Rudna* (sekretarz redakcji)

RADA REDAKCYJNA

Paweł Jokiel (Uniwersytet Łódzki), *Tomasz Kalicki* (Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach)
Polina Lemenkova (Université Libre de Bruxelles, École polytechnique de Bruxelles)
Adam Łajczak (Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie), *Ján Novotný* (Słowacka Akademia Nauk, Bratysława)
Eva Paudītšová (Uniwersytet Komeńskiego w Bratysławie), *Zbigniew Rdzany* (Uniwersytet Łódzki)
Mariusz Szubert (Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie)

RECENZENCI

Maria Adamczewska (Uniwersytet Łódzki), *Dorota Brzozowicz-Strojna* (Uniwersytet Łódzki)
Alina Brzuska-Kępa (Uniwersytet Łódzki), *Beata Figarska-Warchoł* (Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie)
Artur Ginter (Uniwersytet Łódzki), *Maria Górska-Zabielska* (Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach)
Tomasz Kalicki (Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach), *Edyta Kiedrzyńska* (Uniwersytet Łódzki)
Michał Łopuch (Uniwersytet Wrocławski), *Marek Majewski* (Uniwersytet Pomorski w Słupsku)
Barbara Michalska (Politechnika Łódzka), *Wiktor Piech* (Uniwersytet Łódzki)
Paweł Przepióra (Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach), *Aleksander Szmidt* (Uniwersytet Łódzki)
Artur Zieliński (Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach)

REDAKTOR INICJUJĄCY

Sylvia Mosińska

KOREKTA I SKŁAD KOMPUTEROWY

Aleksandra Retkiewicz

KOREKTA TECHNICZNA

Wojciech Grzegorzczak

PROJEKT OKŁADKI

efectoro.pl *agencja komunikacji marketingowej*

Opublikowano gotowe materiały dostarczone do Wydawnictwa UŁ
przez Wydział Nauk Geograficznych

ISSN 1427-9711

e-ISSN 2353-6063

© Copyright by Authors, Łódź 2025

© Copyright for this edition by Uniwersytet Łódzki, Łódź 2025
Redakcja Acta Universitatis Lodzensis. Folia Geographica Physica

90-139 Łódź, ul. Narutowicza 88

tel. (+48 42) 665 59 35

<http://foliagp.geo.uni.lodz.pl/>

e-mail: geografiz@geo.uni.lodz.pl

Wydane przez Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

Wydanie I. W. 11833.25.0.Z

Ark. druk. 11,75

Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

90-237 Łódź, ul. Jana Matejki 34A

www.wydawnictwo.uni.lodz.pl

e-mail: ksiegarnia@uni.lodz.pl

tel. 42 635 55 77

ARTYKUŁY

ARTICLES

Karolina Serwach¹ • Maciej Ziulkiewicz² ⁽¹⁾ University of Lodz, Doctoral School of Exact and Natural Sciences⁽²⁾ University of Lodz, Faculty of Geographical Sciences, Department of Geology and Geomorphology

E-mail: karolina.serwach@edu.uni.lodz.pl; maciej.ziulkiewicz@geo.uni.lodz.pl



Bottom sediments of a spring watercourse as a filter for microplastic – on the example of the Młynówka in Stary Imielnik (municipality of Stryków) – preliminary studies

Osady denne cieku źródłiskowego jako filtr dla mikroplastiku – na przykładzie Młynówki w Starym Imielniku (gmina Stryków) – badania wstępne

Abstract

Microplastic (MP) are currently one of the most serious and emerging environmental problems that involve rivers and streams with particular clarity. In the present study of the spring-fed watercourse bed sediments, the presence of microplastic particles was demonstrated and the pathway of their penetration into this environment was identified. The presence of microplastic in the form of fine plastic particles, taking the shape of fibres and fragments in dark and light colours within the hyporheic zone was found. This occurs directly beneath the lowland watercourses with sandy bottoms. There, groundwater is in contact with surface water and mixing takes place. This is an important ecological zone, where chemical and physical processes are crucial to the river environment. In the hyporheic zone there is an exchange of nutrients and oxygen between river water and groundwater, which is crucial to the ecological health of the river and its surroundings. This zone can play an important role in the processes of microplastic transport and retention, as it is where microplastic is washed into the channel infiltration (downwelling) zones and sediment is deposited on the sand filter penetrated by the mixture of river water and groundwater.

Keywords

Microplastic, riverbed sediments, hyporheic zone, vertical hydraulic gradient.

Zarys treści

Mikroplastik (MP) jest obecnie jednym z najpoważniejszych i nowych problemów środowiskowych, który obejmuje ze szczególną wyrazistością rzeki i strumienie. W niniejszej pracy, dotyczącej badań osadów dennych cieku źródłiskowego, wykazano obecność mikrocząstek tworzyw sztucznych oraz wskazano drogę ich przenikania do tego środowiska. Stwierdzono obecność mikroplastiku w postaci drobnych cząstek tworzyw sztucznych, przybierających kształt włókien i fragmentów w ciemnych i jasnych barwach w obrębie strefy hyporeicznej. Występuje ona bezpośrednio pod ciekami nizinnymi o piaszczystym dnie. Woda podziemna ma tam kontakt z wodą powierzchniową i dochodzi do ich mieszania. Jest to ważna strefa ekologiczna, gdzie procesy chemiczne i fizyczne mają kluczowe znaczenie dla środowiska rzecznoeg. W strefie hyporeicznej zachodzi wymiana substancji odżywczych i tlenu pomiędzy wodą rzecznoą a podziemną, która jest kluczowa dla zachowania dobrej kondycji ekologicznej cieku i jego otoczenia. Strefa ta może odgrywać istotną rolę w procesach transportu mikroplastiku i jego retencji, gdyż dochodzi tam do wmywania mikroplastiku w strefach infiltracji korytowej (*downwelling*) i osadzania na filtrze piaszczystym osadów penetrowanych przez mieszaninę wód rzecznych z podziemnymi.

Słowa kluczowe

Mikroplastik, osady denne, strefa hyporeiczna, pionowy gradient hydrauliczny.

1. Introduction

Plastics, which are relevant to the modern economy, became the focus of scientific research less than five decades ago, essentially in relation to the marine ecosystem. Synthetic particulates were first detected in the oceans in the 1970s (Carpenter, Smith 1972), and advanced research into micro- and nanoplastic began in the 21st century. Microplastic, consisting of synthetic polymers, are less than 5 mm in size and are classified as either primary

(intentionally produced) or secondary (resulting from degradation) (EU, Scientific Opinion 6/2019). Microplastic present in aquatic ecosystems have the ability to adsorb hazardous substances and move from primary producers to consumers within the food web (Dalvand, Hamidian 2023). Plastic production began in the 1950s, initially at a scale of up to about 2 megatonnes per year. Low production costs and the wide range of applications for polymers led to a dramatic increase in production, reaching 368 MT by 2019 (Schütze et al. 2022). By 2014,



Original article; Received: 6.02.2025; Revised: 9.04.2025; Accepted: 29.05.2025

© by the author, licensee University of Lodz – Lodz University Press, Lodz, Poland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license CC BY-NC-ND 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)
Funding information: Not applicable. Conflicts of interests: None. Ethical considerations: The Author assures of no violations of publication ethics and takes full responsibility for the content of the publication.

global production had reached 311 million tonnes, of which 19% was attributed to Europe. Only 30% of this waste was recycled or converted into energy (Horton et al. 2016), with the remaining surplus released into the environment. In 2021, the amount of plastics produced in Europe reached 16.13 million tonnes (EU, Article 25 June 2024). Annually, more than 10 million tonnes of plastic are dumped into the oceans and 79% of global plastic waste ends up in landfills, where it can remain for centuries (Wang et al. 2023). Estimating riverine plastic waste emissions to the ocean is fraught with challenges due to different observation and measurement methodologies (Emmerik et al. 2018). There is a lack of international testing standards moreover, different wastewater treatment technologies for MP exacerbate these difficulties (Mintening et al. 2016). Plastics are chemically and physically stable, but are subject to mechanical fragmentation and dispersion by air and water in the environment. The main sources of these pollutants are wastewater treatment plants, landfill sites, plastic pellets, paints and synthetic textiles. The textile industry contributes 20% of water pollution, and mechanical washing of clothes is responsible for 35% of secondary microplastic emissions (Mossotti et al. 2022).

2. Purpose of the study

The main purpose of the studies was to identify the presence of microplastic in the spring watercourse bed sediments, in the valley of which there was an old rural farm waste dump. Springwater areas, are usually perceived as minimally altered by human activities. Given that microplastic studies usually concern watercourses in urban areas and lower sections of rivers (estuaries), this study focused on the initial section of the river system to assess whether microplastic pollution also occurs here. The research work took into account the concept of the hyporheic zone to link its functioning to the introduction and deposition of microplastic in the bottom sediments.

3. Characteristics of the environment

The Łódź region is distinguished by numerous spring areas, among which the Młynówka valley is particularly rich in natural groundwater self-outflows (Fig. 1). The spring density index for the Młynówka basin area is 1.17 spring per square km, which places it among the areas with the largest spring resources in central Poland (Jokiel et al. 2007). This indicates large groundwater resources and favourable conditions for their drainage. The groundwater recharge rate of the Młynówka River is 84.8%, with 72% of the basin area being well-permeable formations (Jokiel, Tomalski 2005; Jokiel et al. 2007).

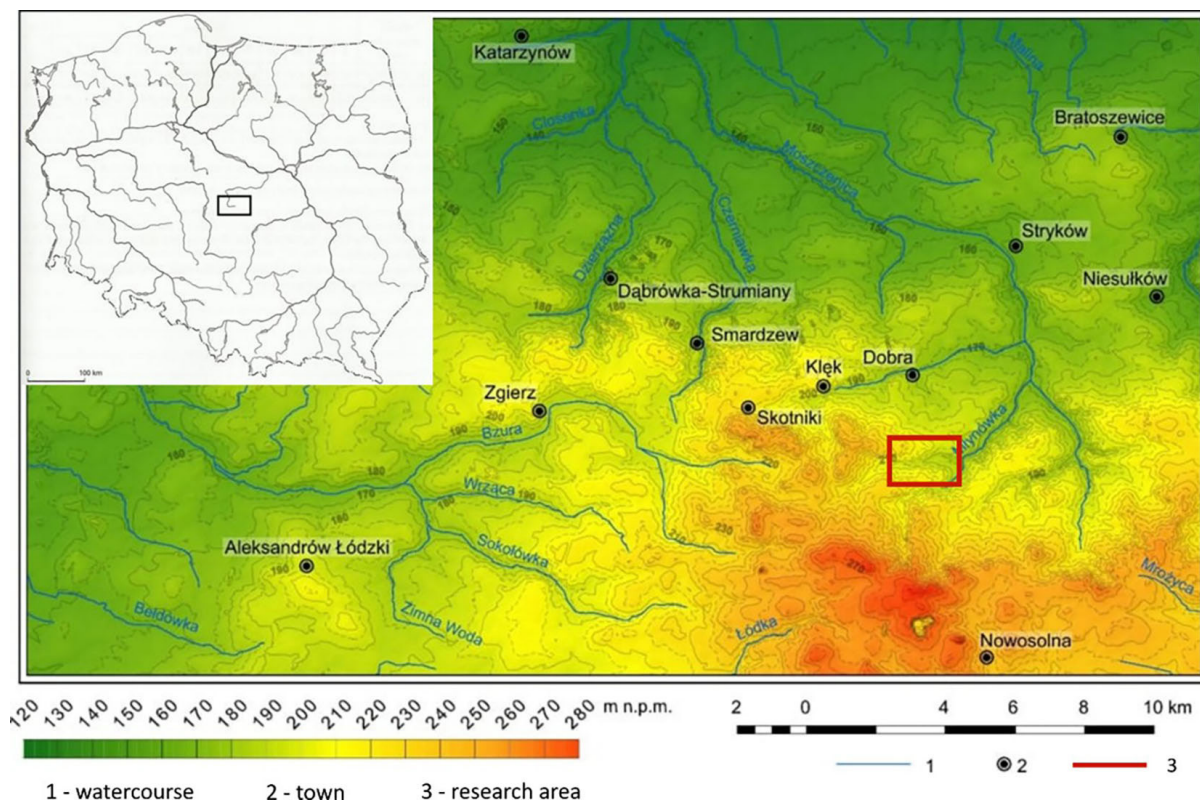


Fig. 1. Location of the study area in the Łódź region

Rys. 1. Położenie obszaru badań w regionie łódzkim

The northern creek of the Młynówka River (NM) is an 852 m long watercourse and the sub-basin area covers 7.59 km². The highest point of the basin area reaches an ordinate of 279.3 meters above sea level (m a.s.l.), while the lowest point, located at the junction of the two creeks of the Młynówka River in the Struga Dobieszkowska Nature Reserve, reaches an ordinate of 179.5 m a.s.l. The average slope of this basin is 1.13%.

The sub-basin of the dry valley, defined for the surveyed section of the watercourse, covers an area of approximately 8472 m². It has its highest point at 195.0 m a.s.l. and its lowest point in the NM valley bottom at an ordinate level of 180.6 m a.s.l. The average slope of the area is 7.36%.

Field reconnaissance showed that the landfill fills a significant part of a dry lateral valley, leading the valley of the spring watercourse in the Stary Imielnik village. Profiling of this form (Fig. 2) showed that in the northern part of it is characterized by a V-shaped profile (Fig. 2 – PROFILE I) with a slope on the western slope (W) amounting of 45% and eastern slope (E) amounting of 40%, while in the lower part towards the south, the dry valley softens and acquires a U-shaped profile (Fig. 2 – PROFILE II). Its western slope has a gradient amount of 15% and the eastern slope 11%. Rural buildings border the upper part of the dry valley, while the waste itself is located in its lower part.

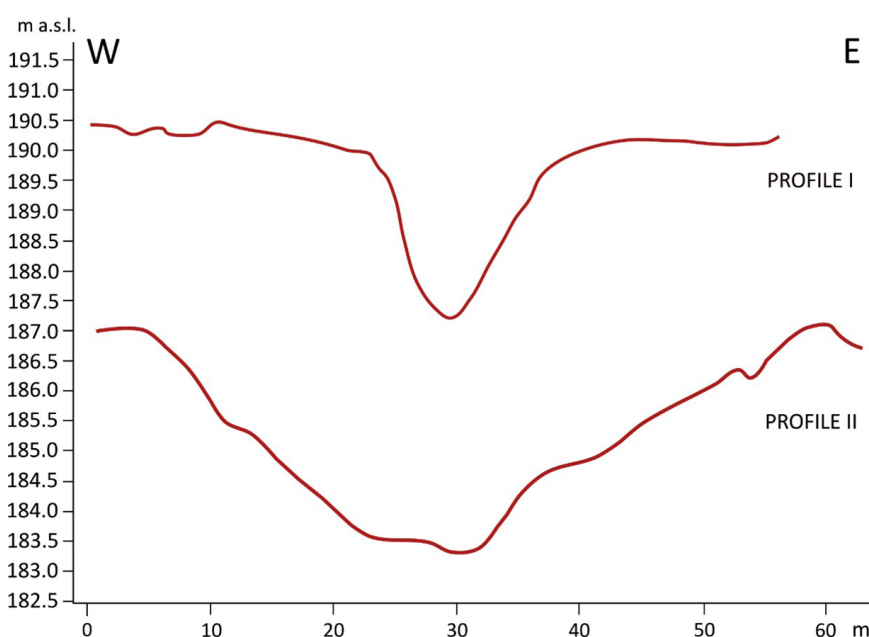


Fig. 2. Transverse hypsometric profile of the lateral valley at the head of which the rubbish dump is located (<https://scalgo.com>)

Rys. 2. Poprzeczny profil hipsometryczny bocznej doliny, u zwiężczenia której znajduje się śmietnisko (<https://scalgo.com>)

Rural waste deposited on the slope of the spring watercourse valley is subject to mass movements and moves down the slope. Lateral erosion of the watercourse and back erosion of the groundwater outflows operating there cause the waste, after the first grinding stage in the heap, to end up in the watercourse. As a result, the rubbish dump originally located on the upper part of the northern slope of the valley has slid down to the lower part of the valley, becoming the northern bank of the stream for some distance. Larger pieces of waste remain scattered on the slope or deposited in the Młynówka River bed sediments (Photo 1).

Taking into account the degree of land sealing, the rainwater runoff that takes place as surface runoff from natural areas is 10%, and ranges from 20 to 55% for sealed areas (Rosiek 2017). Surface runoff can also transport solid pollutants. In the case of the area described, in addition to the location of the landfill, attention should

be paid to the shape of the dry valley described earlier, through which surface run-off takes place. Both factors – the form of the terrain and the location of the landfill – create a risk of mechanical fragmentation of the plastic waste and its movement directly into the channel of the Młynówka River. The basin of the northern arm of the Młynówka River is 56% transformed by man, the sub-basin of the dry valley 52% (<https://scalgo.com>). The difference is not in the proportion of surface area transformed but in the intensity of surface runoff resulting from the proportion of impermeable surfaces, i.e. buildings or tarmac roads. This is 16% for the whole NM basin and 35% for the dry valley sub-basin. Another issue is the proportion of woodland, which provides an adequate level of rainwater retention in the environment and delays its runoff. For the NM basin this is 14%, while for the dry valley sub-basin it is only 1%.



Photo 1. Household waste banks of the spring watercourse and in its bed (photo: K. Serwach)

a – undercutting caused by back erosion of groundwater outflows at the foot of the valley slope with dissected wastes
b – a tin disintegrated on the bank of the stream
c – disintegrated waste directly in the stream course

Fot. 1. Odpady gospodarcze na brzegach cieku źródłkowego oraz w jego korycie (fot. K. Serwach)

a – podcięcie wywołane erozją wsteczną wypływów wód podziemnych u podnóża stoku dolinki z wypreparowanymi odpadami
b – puszka wypreparowana na brzegu cieku
c – rozpadający się odpad bezpośrednio w korycie strugi

4. Methods

The present studies were divided into several phases. Chamber work, field work and laboratory analyses. The field trips took place over several weeks in October and November 2023. The first stage involved the selection of bottom sediment sampling points, the collection of sediment samples (Fig. 3) from a depth of 0–20 cm with

a volume of 1 litre into glass containers, together with morphological and hydrological measurements of the river flow, vertical hydraulic gradient (VHG), water velocity, width and depth of watercourse. These measurements made it possible to calculate the Reynolds number and Froude number determining the nature of the water movement in the watercourse and thus approximating the hyporheic exchange conditions.

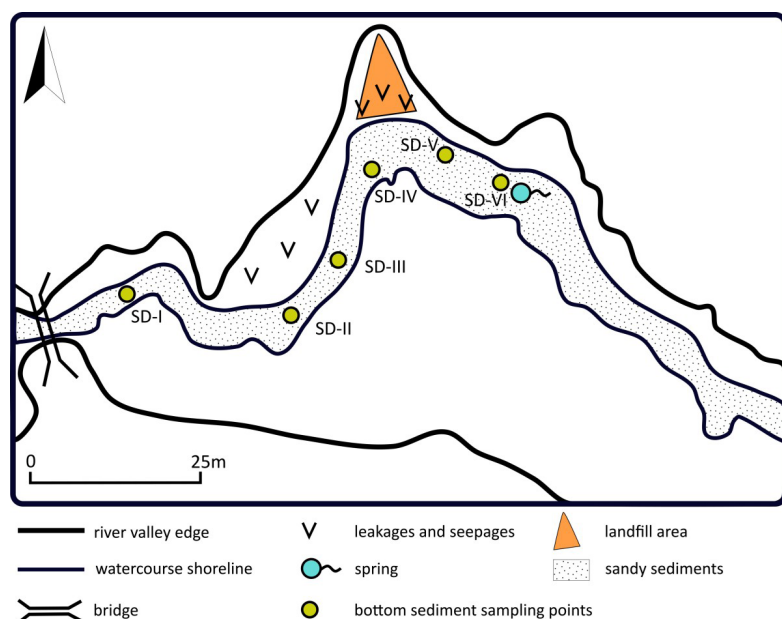


Fig. 3. Location of bottom sediment sampling points

Rys. 3. Rozmieszczenie punktów poboru prób osadów dennych

The Reynolds number was calculated according to the formula:

$$Re = \frac{v \cdot l}{\gamma} \quad (f. 1)$$

where: v – average swimming velocity [m/s], l – quadruple water depth [m], γ – water viscosity dependent on temperature and pressure.

The Froude number was calculated using the formula (Klimaszewski 1981):

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot d_k}} \quad (f. 2)$$

where: v – average swimming velocity [m/s], d_k – riverbed depth [m], g – earth acceleration.

To measuring of magnitude and direction of the VHG using a gradientometer (Marciniak, Chudziak 2015) and to collect water samples for chemical analysis. The assessment of the water exchange between the headwater stream and its hyporheic zone (HZ) was an important part of the study, as it clarified the mechanism of MP deposition in the sediments. The study allowed verification of the hypothesis that the HZ is essential for the capture and storage of contaminants, such as microplastic particles, which can be transported down the river system via the watercourse. The hyporheic zone has an important filtering function, which influences the distribution of pollutants carried by river water. Surface waters naturally undergo purification processes in the HZ. Contaminants retained on the sandy sediments, which are a natural filter, are neutralised biochemically, either chemically precipitated when mixed with groundwater or mechanically retained (Lewandowski *et al.* 2019). Studies of the hyporheic zone primarily emphasise mechanisms related to contaminant transport. These mechanisms can be correlated with the erosion and translocation of sediments that form the bedding and banks of the riverbed (Ghinassi *et al.* 2023).

Consequently, the hyporheic zone functions not only as a repository of contaminants, but also as a sphere with a significant impact on the further spread of contaminants in the aquatic ecosystem (Wondzell 2011).

The definition of a hyporheic zone states that it is a zone of mixing of surface water and groundwater, with intermediate conditions between the two (Gooseff 2010). To identify the hyporheic zone in the bed of the Młynówka River, a simplified model of the End-Member Mixing Analysis (EMMA) proposed by Battin *et al.* (2003) (f. 3) using chloride concentrations. Although, as stated by Ziulkiewicz *et al.* (2023), the presence of anthropogenic pollutants in the study waters limits the applicability of such a computational model. To calculate the share of river water in the hyporheic zone used a formula (Battin *et al.* 2003):

$$C_{10} = x \cdot C_{SW} + (1 - x) \cdot C_{GW} \quad (f. 3)$$

where: C_{10} – concentration of an indicator ion in water from 10 cm below the riverbed¹, C_{SW} – concentration of

an indicator in river water, which is the first final element of mixing, C_{GW} – concentration of an indicator in the groundwater, which is second end of mixing.

VHG measurements determine whether trough drainage (upwelling) or trough infiltration (downwelling) is occurring at a given measurement point (Marciniak, Chudziak 2015). The formula used to calculate VHG was:

$$VHG = \frac{h}{l_o} \quad (f. 4)$$

where: h – difference in groundwater and river water pressure [mm/mm], l_o – measurement depth in sediments [mm].

Laboratory work included granulometric analysis, including the calculation of coefficient of graining non-uniformity (5) and grain-size distribution curve (6). Formulae were used to calculate the Cu and Cc indices:

$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (f. 5)$$

$$Cc = \frac{d_{30}^2}{d_{60} \cdot d_{10}} \quad (f. 6)$$

where: d_{10} , d_{30} i d_{60} are grain diameters which, together with the finer grains, represent respectively 10, 30 and 60% by weight of the sediment (Racinski *et al.* 2001).

The granulometric composition was determined using a direct method, sieve analysis, which involves the actual measurement of soil particle dimensions under laboratory conditions (Myślińska 2019). This was supplemented by an indirect method, the areometric analysis, based on a sedimentation process in which a homogeneous suspension of the sample is prepared and its bulk density is determined using an areometer (Szymański 2007). In addition, Cu and Cc indices were calculated, which provide information on the degree of particle differentiation. Higher values of these indices indicate less homogeneity of the soil (Jermołowicz 2019). The EN ISO 14688-2 standard was used to classify the sediments (Majer *et al.* 2021).

An essential element of the study was the separation of microplastic particles from the environmental matrix – the spring watercourse bed sediments. This procedure, according to the literature (Vermeiren *et al.* 2020; Yang *et al.* 2021), included the following steps:

- I. Drying and fractionation of the samples (550 g each), while ensuring that the correct temperature is maintained and that contamination with plastic particles is prevented; selection of appropriate sieves on the shaker to obtain the desired fractions: 5–2 mm, >1 mm, >0.500 mm, >0.200 mm, >0.100 mm, >0.056 mm and <0.056 mm;
- II. Density separation, using NaCl solution;
- III. Removal of organic material with H_2O_2 to prepare samples for optical analysis;
- IV. Identification of microplastic under a DELTA OPTICAL optical microscope for brightfield observation, including fraction, colour and shape of MP particles.

¹ The design of the gradiometer allows measurement and sampling from a depth of 20 cm.

The entire analytical procedure was developed and carried out to document the presence of microplastic in the collected sediment samples (Fig. 4).

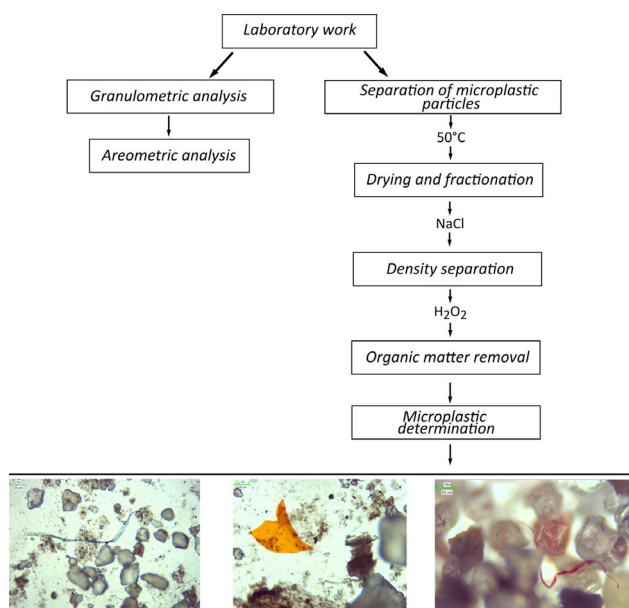


Fig. 4. Laboratory procedure developed for the study of microplastic in riverbed sediments (self-elaboration)

Rys. 4. Procedura laboratoryjna opracowana na potrzeby badań nad mikroplastikiem w osadach rzecznych (oprac. własne)

5. Results

The Reynolds number calculated for the study section was 12 306, indicating turbulent water movement. In addition, the results of the Froude number calculations for the study points indicate the subcritical stream character of the flow of the northern creek of the Młynówka River in the study section.

There was a variable quantitative presence of microplastic in the sediment samples collected. The study yielded a total of 825 particles of microplastic in all samples. The points vary in the number of microplastic (Table 1) and the average microplastic densities are 0.25 pieces per gram (pcs./g).

Table 1. Concentration of microplastic particles per unit of sediment mass

Tabela 1. Zagęszczenie drobin mikroplastiku w jednostce masy osadu

Sum of all MP	165	116	112	194	83	155	825
Densification [pcs./g]	0.30	0.21	0.20	0.35	0.15	0.28	0.25
Densification [pcs./kg]	300.00	210.90	203.60	352.70	150.90	281.80	250.00

The *Cu* index, which refers to the uniformity of grain size, for samples SD-I to SD-V ranges from 2.26 to 2.53, indicating that these sediments are evenly grained. In contrast, the *Cc* index, which determines the curvature of the grain size, in the same samples is in the range 1.02 ÷ 1.14, indicating that the sediments are moderately to poorly sorted. In the compilation (Table 2), the SD-VI point stands out, where the results of the indices are different: *Cu* is 4.02, which documents a change in the sediment from an even grained sediment towards a differentiated sediment, while the *Cc* index for this point is 1.83, which confirms that the sediment is moderately to poorly sorted.

Table 2. Summary of indicator results: coefficient of graining non-uniformity (*Cu*) and grain-size distribution curve (*Cc*) in each sample

Tabela 2. Zestawienie wyników wskaźników: współczynnik nierównomierności uziarnienia (*Cu*) i wskaźnik krzywizny uziarnienia (*Cc*) w każdej próbce

	<i>Cu</i>	<i>Cc</i>
SD-I	2.53	1.14
SD-II	2.42	1.10
SD-III	2.26	1.09
SD-IV	2.42	1.13
SD-V	2.31	1.02
SD-VI	4.02	1.83

The analysis showed that 89% of the identified microplastic particles were smaller than 2 mm, and 80% of them were fibre shaped, among which 76% were dark in colour (Photo 2).

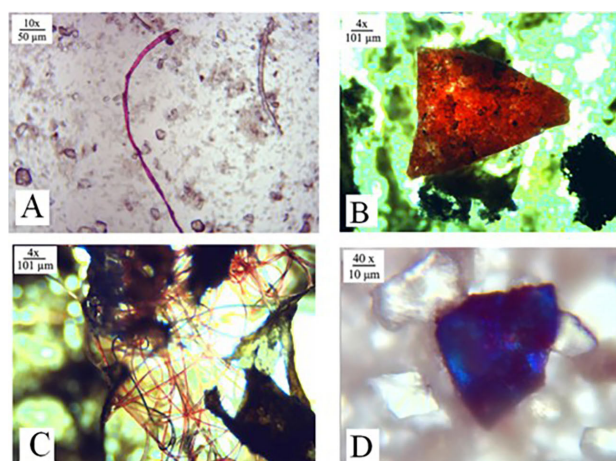


Photo 2. Extracted microplastic particles from the bottom sediment of a spring-fed watercourse (photo: K. Serwach)

A – pink fibre from the 0.2–0.5 mm fraction; B – red fragment from the 0.5–1.0 mm fraction; C – multicolor fibre from fraction 1–2 mm; D – blue fragment from fraction <0.056 mm

Fot. 2. Wyodrębnione cząstki mikroplastiku z osadu dennego cieków źródłiskowego (fot. K. Serwach)

A – różowe włókno z frakcji 0,2–0,5 mm; B – czerwony fragment z frakcji 0,5–1,0 mm; C – kolorowe włókna z frakcji 1–2 mm; D – niebieski fragment z frakcji <0,056 mm

To verify the research hypothesis that a hyporheic zone is functioning in the studied section of the spring watercourse, the proportion of river water in the HZ was calculated based on chloride ion concentrations in the watercourse and in groundwater flowing from the spring (Table 3). Due to the village water supply system and the

decommissioning of wells, it was not advisable to test the chloride ion concentration at local shallow groundwater intakes. Therefore, measurements were taken at the 'Stormy' spring at point SD-VI. For technical reasons, it was not possible to take measurements at sampling point SD-I.

Table 3. Vertical hydraulic gradient (VHG) and chloride ion measurements at the sampling points

Tabela 3. Pomiary pionowego gradientu hydraulicznego (VHG) oraz jonu chlorkowego w punktach poboru prób

		SD-II	SD-III	SD-IV	SD-V	SD-VI	River waters	Spring waters
VHG [mm/mm]*	P1	0.125	−0.350	0.275	0.380	0.415	–	–
	P2	0.390	−0.050	0.350	0.350	0.510		
Cl [−] [mg/l]		12.8	37.3	68.8	47.2	19.4	21.5	51.9
Share of river water [%]		**	48.0	–	15.5	–	–	–
Share of groundwater [%]		–	52.0	–	84.5	–	–	–

* P1 – measure one, P2 – measure two.

** Negative values resulting from chloride ion concentrations in hyporheic waters exceeding the limits of the range of concentration values in the mixing end elements, i.e. river and groundwater, have been omitted.

According to Triska *et al.* (1993), the hyporheic zone occurs when the share of river waters is between 10–99%.

The results of the similarity analysis of the sediment samples in terms of MP content and the nature of these particles are presented as dendrograms in Fig. 5 and Fig. 6.

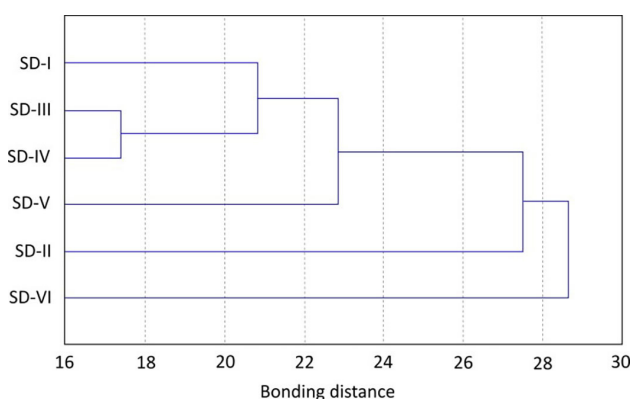


Fig. 5. Dendrogram (I) of sample similarity in terms of the nature of MP contamination

Rys. 5. Dendrogram (I) podobieństwa prób pod względem charakteru zanieczyszczenia MP

Dendrogram I (Fig. 5) documents the dissimilarity of sample SD-VI compared to the others and the high similarity of samples SD-III and SD-IV, i.e. those taken above the landfill.

Dendrogram II (Fig. 6) shows that the microplastic particles found in the samples form three groups: (1) light fibres and fragments between 0.1 and 1 mm in the samples (2) dark fibres between 0.1 and 0.5 mm and (3) dark fibres between 0.5 and 5 mm.

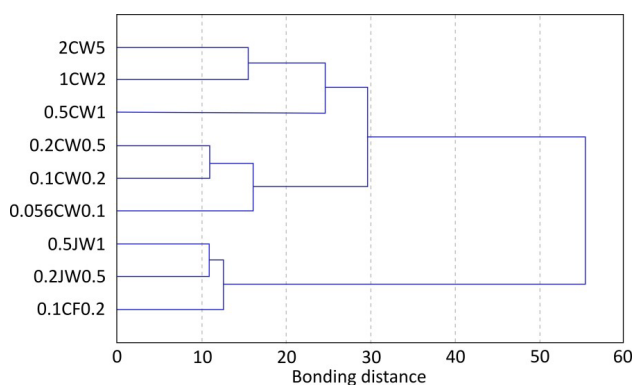


Fig. 6. Dendrogram (II) of the similarity of the selected MP groups in the studied sediments: C – dark; J – light; W – fibres; F – fragments. The numerical values identify the range of fractions, e.g. 2CW5 is the dark fibres in the 2–5 mm fraction

Rys. 6. Dendrogram (II) podobieństwa wytypowanych grup MP w badanych osadach: C – ciemne; J – jasne; W – włókna; F – fragment. Wartości liczbowe identyfikują zakres frakcji, np. 2CW5 to ciemne włókna we frakcji 2–5 mm

6. Discussion

The calculated average concentration of isolated plastic microparticles, which was 0.25 pcs./g for all samples is lower than the average particle concentration shown in some of the world's rivers classified as heavily polluted and ranging from 0.44 to 5.68 pcs./g (Ghinnasi *et al.* 2023). The values obtained by the author are almost 12 times lower than the average concentration across Europe of 2.9 pcs./g. These results refer to soil tests at 14 locations, for which reagents with a density of 1.70 g/cm³ were used (Büks, Kaupenjohann 2020). The results obtained, which are lower than the European average, depend not only on the reagent used (1.20 g/cm³),

which excluded higher density polymers such as PVC (1.28 g/cm^3) from the analysis, but also on the type of sediment. It is difficult to relate the values obtained to the literature, as it does not provide specific data for spring watercourse bed sediments.

About 95% of the isolated plastics in the study by Lwanga *et al.* (2017) were less than $50 \mu\text{m}$ in size, while in the study by Zhang and Liu (2018), 82% of isolated MP were $<250 \mu\text{m}$ in size and fibre shape was predominant. The author's analytical results showing an 89% predominance of particles smaller than 2 mm , dominated by dark-coloured fibres, can be compared with the study of Liu *et al.* (2018), which was also based on a density limit of 1.2 g/cm^3 , where 54.3% of the particles were $<1 \text{ mm}$ in size, also with fibre dominance (Büks, Kaupenjohann 2020). It should be noted that the presence of microplastic particles at point SD-I, i.e. above the landfill site, may be due to the presence of other small foci of household waste scattered along the watercourse from the beginning (Gulke 2022).

The calculated C_u and C_c indices at points SD-I to SD-V show no significant differences in the structure of the bottom sediments. The SD-VI point stands out in the comparison, with results of $C_u = 4.02$, which indicates a change in sediment from equi-granular to differentiated sediment and $C_c = 1.83$, which also, as for the other points, indicates moderately to poorly sorted sediment (Pisarczyk 2014; Racinowski *et al.* 2001).

At point SD-III, there is a trough infiltration (downwelling) phenomenon, which is also confirmed by the results of calculating the river waters share into HZ (Table 3). This phenomenon is referred to in the highest number of MP fines occurring at the point below, which falls at SD-IV and is 194 pcs. The turbulent movement of water in the study section of the spring watercourse is, according to the results of Froude number calculations for each study point (from 0.16 at SD-VI to 0.27 at SD-V), subcritical streaming (Klimaszewski 1981).

It favors the injection of particles into the sediment in downwelling zones. The potential for hyporheic exchange development (HYPPOT) according to Gulke *et al.* (2025) for the northern arm of the Młynówka River is $2.54\text{E-}04$ (Gulke *et al.* 2025). This is lower than the value determined for another spring watercourse in the vicinity of Łódź, the Malinka, where HYPPOT ranges from $3.69\text{E-}05$ to $3.31\text{E-}04$ (Ziulkiewicz, Gulke 2024). According to Wondzell (2011), these values are high and favor hyporheic exchange in both headwaters.

According to the hydrochemical criterion, only points SD-III and SD-V show the presence of HZ, as the share of river waters exceeds 10%, which is a condition for the presence of this zone (Triska *et al.* 1993). When verifying the presence of downwelling or upwelling, it is important to look at measurements of chloride ion concentrations.

At point SD-II and SD-VI, the concentration of Cl^- , is lower than the chloride ion concentration of river water (21.5 mg/dm^3). Point SD-IV, with a Cl^- result of

68.8 mg/dm^3 , should be treated as an effect of anthropogenic pollution (Macioszczyk, Dobrzyński 2002). According to Ziulkiewicz *et al.* (2023) in areas where the effects of anthropogenic pollution are clear, the application of the EMMA model is a major difficulty. Taking all the data into account, it can be concluded that point SD-III is characterised by downwelling and point SD-V by upwelling. These phenomena favor the introduction of pollutants into the bottom sediments and their transport under the bed of the spring watercourse. Downwelling results in MP particles floating in the river waters being washed into the bed sediment, while upwelling, lifts stripped MP water back into the riverbed. The stage of temporary storage of MP in the bottom sediment of the watercourse may contribute to their further mechanical fragmentation during the movement of sediment batches during flood events, or even their secondary mobilization into the watercourse.

Attention should be drawn to the study of Mancini *et al.* 2023, who showed that hydraulic load and time are not very important in the infiltration of MP into the sediment and do not determine this phenomenon, but the diameter of the MP particles and the mean of the sediment grains in the bed of the trough do, while hydraulic load alone contributes to the distribution of MPs in the first 15 cm of sediment. Waldschläger and Schüttrumpf (2020) confirm the dependence of MP infiltration depth in sediments on the correlation of sediment grain size and MP particle shape and size. A study by Ling *et al.* 2022 on the correlation of MP concentration in freshwater and saltwater sediments showed that it is freshwater systems with low salinity and high flow velocities that may favor an increase in the occurrence of MP particles in sediments.

The similarity assessment of the samples illustrated on the dendrograms (Fig. 5 and 6) showed that point SD-VI, shows complete distinctness from the others, which only confirms the differences shown by the C_u and C_c indices. The similarity assessment in the structure of the MP contamination (Fig. 6) shows the distinctness of the light fibers and fragments in the size range from 0.1 to 1 mm . The next group consists of dark fibers between 0.1 and 0.5 mm , and the last group consists of dark fibers between 0.5 and 5 mm . This may suggest a common origin of the particles in question from one larger whole in the waste group, and thus also a separation from other groups, particle entry pathways into the trough or fragmentation efficiency.

A study by Radfort *et al.* (2023) showed differences in soil MP content between the summer and winter seasons. During the summer months, when rainfall was lower, more MP particles were isolated, while during the winter month with higher rainfall, almost half as many particles were counted (*ibid*). On this basis, the conclusion was drawn that rainfall and consequently surface run-off may contribute to the leaching of MP from the soil. The samples for the present study were taken during the autumn period, so on this basis it can be expected that the amount of isolated MP particles at other times would be different.

With an average daily rainfall, in the driest month, which is February, it was calculated that in the lower part of the NM sub-basin, taking into account the initial losses due to saturation of the ground with moisture, through the dump, can flow approx. 0.056 dm³/s of precipitation.

Assuming that, for the study area, the 100-year precipitation is 89 mm (<https://klimat.imgw.pl>) then the volume of runoff in the lower part of the NM sub-basin could be as high as 40.5 dm³/s (<https://scalgo.com>). The flow in NM on the two measurement days was 9.8 dm³/s and 13.4 dm³/s. This means that during heavy rainstorms, the flow of rainwater through the garbage dump can be 4 times the average NM flow.

The intensity of surface runoff depends on the vegetation covering the area. The winter months interrupt the growing season and, in our latitudes, areas of river valleys become exposed as a result of the death of the green parts of plants. The samples for the present study were taken in autumn, after the growing season but before winter. Studies of spring waters show some correlation in the abundance of microplastic particles in spring waters and the presence of humans in their vicinity (Yanuar *et al.* 2024). Research by Horton *et al.* (2016) suggest that direct runoff of microplastic particles from the land surface into rivers, is more important than inflows of these particles with wastewater. They stress that rivers are sinks for dense plastics and other anthropogenic pollutants that may affect the environment, while the hyporheic zone itself acts as the 'liver of the river' (Fischer *et al.* 2005).

7. Summary

The results obtained were related to literature data and provided insight into the representation of microplastic particles in relation to the grain size of the bottom sediments and the hydraulic loading of the riverbed of the study watercourse. They indicate that this is particularly relevant for trough infiltration of microplastic into the hyporheic zone (HZ). It has been assumed that hydraulic loading alone facilitates microplastic decomposition in the upper 15 cm of sediment (Mancini *et al.* 2023), but this phenomenon was not observed during the study. Immediately below the downwelling zones, there is generally an increase in microplastic particles in the bottom sediments. The main conclusions of the research work carried out in the Młynówka River include:

- Documentation of a new form of anthropogenic pressure, previously undetected within a spring watercourse in the Lodz Heights region;
- Identification of the hyporheic zone in the studied section of the northern arm of the Młynówka (NM) stream;
- Development of a downwelling zone, indicating infiltration of river water into the riverbed and infiltration of microplastic into NM bottom sediments;
- Variation in the granulometric structure of spring stream bottom sediments explaining their ability to retain microplastic particles in the intergranular spaces of

filtering, HZ-flowing waters, especially in sediments with increased grain size irregularity;

- Presence of an upwelling zone, potentially creating the possibility of releasing the smallest, unfilterable fraction of microplastic back into the watercourse bed;
- Demonstration of turbulent spring stream water flow, facilitating hyporheic exchange between the stream bed and its hyporheic zone.

The observed presence of a hyporheic zone in the studied section of the watercourse and the demonstration of the presence of MP in the bottom sediments of the stream between the downwelling and upwelling, together with the reported characteristics of surface water movement in the channel and the magnitude of the HYPOT index, indicates the potential ability of microplastic to be washed into the HZ and temporarily retained in the sandy filter of the bottom sediments of the river channel.

The results indicate an urgent need for further research and interventions to mitigate the influx of microplastic into the river environment from its origins in the spring zone. In addition, it should be noted that a potential threat of hydrological effects of urbanization of peri-urban villages has been identified, which will lead to increased surface run-off over time, thus intensifying the leaching of pollutants from old landfills and MP accumulated in the sediments of the initiation courses.

8. References

- Battin T.J., Kaplan L.A., Newbold J.D., Hendricks S.P. 2003. A mixing model analysis of stream solute dynamics and the contribution of hyporheic zone to ecosystem function. *Freshwater Biology* 48: 995–1014.
- Büks F., Kaupenjohann M. 2020. Global concentrations of microplastics in soils – a review. *Soil* 6: 649–662.
- Carpenter E., Smith K. 1972. Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science* 175 (4027): 1240–1241.
- Dalvand M., Hamidian A.H. 2023. Occurrence and distribution of microplastics in wetlands. *Science of the Total Environment* 862.
- Emmerik T., Kieu-Le T.C., Loozen M., Oeveren K., Strady E., Bui X.T., Egger M., Gasperi J., Laberton L., Nguyen P.D., Schwarz A., Slat B., Tassin B. 2018. A Methodology to Characterize Riverine Macroplastic Emission Into the Ocean. *Frontiers in Marine Science* 5.
- Fischer H., Kloep F., Wilczek S., Pusch M.T. 2005. A river's liver-microbial processes within the hyporheic zone of a large low-land river. *Biogeochemistry* 76: 349–371.
- Ghinassi M., Michielotto A., Uguagliati F., Zattin M. 2023. Mechanisms of microplastics trapping in river sediments: Insights from the Arno river (Tuscany, Italy). *Science of The Total Environment* 866: 161273.
- Goosseff M.N. 2010. Defining Hyporheic Zones – Advancing Our Conceptual and Operational Definitions of Where Stream Water and Groundwater Meet. *Geography Compass* 4(4): 945–955.
- Gruk R. 2022. Wymiana wód powierzchniowych i podziemnych w korycie północnego ramienia Strugi Dobieszkowskiej [Praca magisterska, Uniwersytet Łódzki]. *Archiwum Prac Dyplomowych Uniwersytetu Łódzkiego*.
- Gruk R., Górski J., Markowicz P., Ziulkiewicz M. 2025. Hydrochemical aspects of river and groundwater exchange in the bed of a spring stream in the suburban area of the Łódź agglomeration (in preparation – in review).
- Horton A., Svendsen C., Williams R., Spurgeon D., Lahive E. 2016. Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK – Abundance, sources and methods for effective quantification. *Marine Pollution Bulletin*.

- Jermolowicz P. 2019. Problematyka zagęszczania i stabilizacji gruntów w budownictwie. Technologie i ich skuteczność. Zasady projektowania i wykonawstwa (materiały szkoleniowe). Opole.
- Jokiel P., Moniewski P., Ziulkiewicz M. (Ed.) 2007. Źródła Polski – wybrane problemy krenologiczne. Łódź: Regina Poloniae, Częstochowa.
- Jokiel P., Tomalski P. 2005. Odpływ oraz fizykochemiczne właściwości wód płynących w sąsiedztwie węzła autostrad A1 i A2 w okolicy Łodzi. *Acta Scientiarum Polonorum. Formatio Circumiectus* 4 (2): 3–20.
- Klimaszewski M. 1981. Geomorfologia. PWN, Warszawa.
- Lewandowski J., Arnon S., Banks E., Batelaan O., Betterle A., Broecker T., Coll C., Drummond J.D., Garcia J.G., Galloway J., Gomez-Velez J., Grabowski R.C., Herzog S.P., Hinkelmann R., Höhne A., Hollender J., Horn M.A., Jaeger A., Krause S., Löchner Prats A., Magliozzi C., Meinikmann K., Mojarrad B.B., Mueller B.M., Peralta-Maraver I., Popp A.L., Posselt M., Putchew A., Radke M., Raza M., Riml J., Robertson A., Rutere C., Schaper J.L., Schirmer M., Schulz H., Shanefield M., Singh T., Ward A.S., Wolke P., Wörman A., Wu L. 2019. Is the Hyporheic Zone Relevant beyond the Scientific Community? *Water* 11: 2230.
- Ling X., Yan Z., Lu G. 2022. Vertical transport and retention behavior of polystyrene nanoplastics in simulated hyporheic zone. *Water Research* 219.
- Liu M., Lu S., Song Y., Lei L., Hu J., Lv W., Zhou W., Cao C., Shi H., Yang X., He D. 2018. Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China. *Environmental Pollution* 242 (Pt A): 855–862.
- Lwanga E.H., Mendoza J.V., Ku Quej W., de los Angeles Chi J., del Cid L.S., Chi C., Segura G.E., Gertsen H., Salánki T., van der Ploeg M., Koelmans B., Geissen V. 2017. Field evidence for transfer of plastic debris along a terrestrial food chain. *Scientific Reports* 7 (1): 14071.
- Macioszczyk A., Dobrzyński D. 2002. Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód Podziemnych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Majer E., Roguski A., Grabowska A., Łukawska A. 2021. Oznaczanie, opis i klasyfikacja gruntów według norm PN-EN ISO 14688-1 oraz 14688-2. *Przegląd Geologiczny* 69 (12): 937–948.
- Mancini M., Francalanci S., Innocenti L., Solari L. 2023. Investigations on microplastic infiltration within natural riverbed sediments. *Science of the Total Environment* 904: 167256.
- Marciniak M., Chudziak Ł. 2015. Nowa metoda pomiaru współczynnika filtracji osadów dennych. *Przegląd Geologiczny* 63 (10/2): 919–925.
- Mintening S.M., Int-Veen I., Löder M.G.J., Primpke S., Gerdt S. 2016. Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Research* 30: 1–8.
- Mossotti R., Fontana G.D., Anceschi A., Gasparin E., Battistini T. 2022. Preparation and Analysis of Standard Microplastics, [In:] *Advances and Challenges in Microplastics*: 1–16.
- Myślińska E. 2019. Laboratoryjne badania gruntów i gleb (wydanie 3). Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Pisarczyk S. 2014. Gruntoznawstwo inżynierskie (wydanie drugie poprawione i uzupełnione). Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Raciniowski R., Szczypek T., Wach J. 2001. Prezentacja i interpretacja wyników badań uziarnienia osadów czwartorzędowych (wydanie drugie poprawione i uzupełnione). Nauki o Ziemi, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Radford F., Horton A., Hudson M., Shaw P., Ian Williams I. 2023. Agricultural soils and microplastics: Are biosolids the problem? *Frontiers in Soil Science* 2: 1–14.
- Rosiek K. 2017. Wody opadowe jako przedmiot gospodarowania. *Gospodarka w Praktyce i Teorii* 3: 61–67.
- Schütze B., Thomas D., Kraft M., Brunotte J., Kreuzig R. 2022. Comparison of different salt solutions for density separation of conventional and biodegradable microplastic from solid sample matrices. *Environmental Science and Pollution Research* 29: 81452–81467.
- Szymański A. 2007. *Mechanika gruntów*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Triska F.T., Duff J.H., Avanzino R.J. 1993. The role of water exchange between a stream channel and its hyporheic zone in nitrogen cycling at the terrestrial-aquatic surface. *Hydrobiologia* 251: 167–184.
- Vermeiren P., Muñoz C., Ikejima K. 2020. Microplastic identification and quantification from organic rich sediments: A validated laboratory protocol. *Environmental Pollution* 262: 114298.
- Waldschläger K., Schüttrumpf H. 2020. Infiltration behavior of microplastic particles with different densities, size, and shapes from glass spheres to natural sediments. *Environmental Science Technology* 54 (15): 9366–9373.
- Wang Y., Okochi H., Tani Y., Hayami H., Minami Y., Katsumi N., Takeuchi M., Sorimachi A., Fujii Y., Kajino M., Adachi K., Ishihara Y., Iwamoto Y., Niida Y. 2023. Airborne hydrophilic microplastics in cloud water at high altitudes and their role in cloud formation. *Environmental Chemistry Letters* 21: 3055–3062.
- Wondzell S.M. 2011. The role of the hyporheic zone across stream networks. *Hydrological Processes* 25: 3525–3532.
- Yang L., Zhang Y., Kang S., Wang Z., Wu C. 2021. Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources and potential risk. *Science of The Total Environment* 780: 146546.
- Yanuar A.T., Pramudia Z., Susanti Y.A.D., Kurniawan A. 2024. Analysis of microplastics in spring water. *Emerging Contaminants* 10: 100277.
- Zhang G.S., Liu Y.F. 2018. The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China. *The Science of the Total Environment* 642: 12–20.
- Ziulkiewicz M., Gruk R. 2024. Hydrochemical aspects of water exchange through the bottom of headwater stream in suburban zone on the example of the Malina watercourse in Zgierz (Central Poland). *Geology, Geophysics & Environment* 50(3): 231–251.
- Ziulkiewicz M., Fortuniak A., Górowski J., Ajzert M., Kaźmierczak K., Lik K., Mytkowska N., Ślusarczyk T. 2023. Zintegrowana ocena stanu hydrochemicznego doliny rzecznej w obszarze podmiejskim na przykładzie Strugi Dobieszkowskiej (Młynówki) (gm. Stryków). *Acta Universitatis Lodzensis. Folia Geographica Physica* 22: 19–36.

<https://klimat.imgw.pl>

<https://scalgo.com>

Resolutions/Directives

European Union, European Parliament. Directorate General for Communication. Article 20181212STO21610. 25 June 2024.

European Union, Group of Chief Scientific Advisors. Scientific Opinion 6/2019. (Supported by SAPEA Evidence Review Report No. 4). Brussels, 30 April 2019.



Dominik Witkowski

Uniwersytet Łódźski, Szkoła Doktorska Nauk Ścisłych i Przyrodniczych

E-mail: dominik.witkowski@edu.uni.lodz.pl



Zróżnicowanie petrograficzne piaskowców jurajskich z Jaziej Góry koło Opoczna, Polska Środkowa

Petrographic differentiation of Jurassic sandstones from the Jazia Góra near Opoczno, Central Poland

Zarys treści

W niniejszym artykule przeanalizowano pod kątem petrograficznym piaskowce z Jaziej Góry położonej na Wzgórzach Opoczyńskich. Pobrano 34 próbki piaskowca z 10 stanowisk (I–X), w których przeprowadzono szczegółową analizę geochemiczną tych skał i udokumentowano paleoriplemarki na powierzchniach kopalnych warstw. Wyniki analiz składu pierwiastkowego piaskowców oraz zawartości tlenków, zgodnie z klasyfikacją Herrona z 1988 r., pozwoliły na wyodrębnienie: piaskowców żelazistych, subarkoz, litarenitów i sublitenitów. Cechy geochemiczne i sedimentologiczne mogą wskazywać, że piaskowce te powstały w jurze w warunkach morza płytkiego brakicznego, otulając trzon krystaliczny Gór Świętokrzyskich od północnego-zachodu.

Słowa kluczowe Petrografia, riplemarki, jura dolna, piaskowiec, ostaniec denudacyjny, Wzgórze Opoczyńskie, Polska Środkowa.

Abstract

This paper presents a petrographic analysis of sandstones from Jazia Góra in the Opoczno Hills. 34 sandstones samples in ten sites (I–X) were taken, and a detailed geochemical analysis of these rocks was carried out, together with the documentation of palaeoriplemarks on the surfaces of fossiliferous beds. The results of the analyses of the elemental composition of the sandstones and the oxide content according to the 1988 Herron classification made it possible to distinguish: ferruginous sandstones, subarcosites, litharenites and sublitharenites. The geochemical and sedimentological characteristics may indicate that these sandstones were formed in the Jurassic shallow brackish sea, which enveloped the crystalline core of the Holy Cross Mountains from the northwest.

Keywords Petrography, ripplemark, Lower Jurassic, sandstone, denudation inselberg, Opoczno Hills, Central Poland.

1. Wprowadzenie

Jazia Góra to niewielkie wzniesienie zaznaczające się w krajobrazie okolic Opoczna, położone na Wzgórzach Opoczyńskich, w północno-zachodniej otulinie Gór Świętokrzyskich. Miejsce to od wieków było związane z odkrywkową eksploatacją różnokolorowych piaskowców. Obecnie ich wydobywanie prowadzone jest na niewielką skalę. Dawne wyrobiska stopniowo zarastają. Część „nagich”, pionowych ścian, nieeksploatowanych łomów jest na tyle atrakcyjna krajobrazowo, że jest często odwiedzana przez mieszkańców regionu. To także miejsce atrakcyjne do eksploracji dla geologów. Skały z Jaziej Góry stanowią ważny lokalny surowiec skalny. Wielu mieszkańców regionu wykorzystuje powszechnie ten piaskowiec do budowy ogrodzeń, podmurówek oraz kominków. W łomie odślawiają się piaskowce z dolnej jury (Ziomek 2001). Piaskowce te należą do serii ostrowieckiej oraz serii drzewickiej (Ziomek 2001). Choć wykorzystanie gospodarcze jest bardzo szeroko-

kie to, znajomość dokładnej petrografii tego obszaru jest dosyć słaba.

Podstawowym celem artykułu była próba geochemicznej charakterystyki piaskowców, z których zbudowana jest Jazia Góra i drugorzędym było wskazanie warunków tworzenia się tych piaskowców. Zabieg ten miał odpowiedzieć na pytanie, czy pojedyncze wzniesienie jest zbudowane z wielu rodzajów piaskowców, czy z jednorodnej skały pod względem petrograficznym. Poziom zróżnicowania skał wskazywałby na złożoność środowiska sedimentacyjnego skał. To zróżnicowanie lub jego brak pokazałoby złożoność środowiska i rekonstrukcję paleogeograficzną tego obszaru podczas jury dolnej. Drugim celem było porównanie wyników badań próbek piaskowca pobranych z Jaziej Góry i piaskowców z różnych okresów oraz z sąsiednich lokalizacji mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. To zestawienie miało na celu pokazanie jak piaskowce znajdujące się stosunkowo niedaleko mogły powstać w różnych środowiskach morskich.



Original article; Received: 24.06.2024; Revised: 10.02.2025; Accepted: 11.02.2025

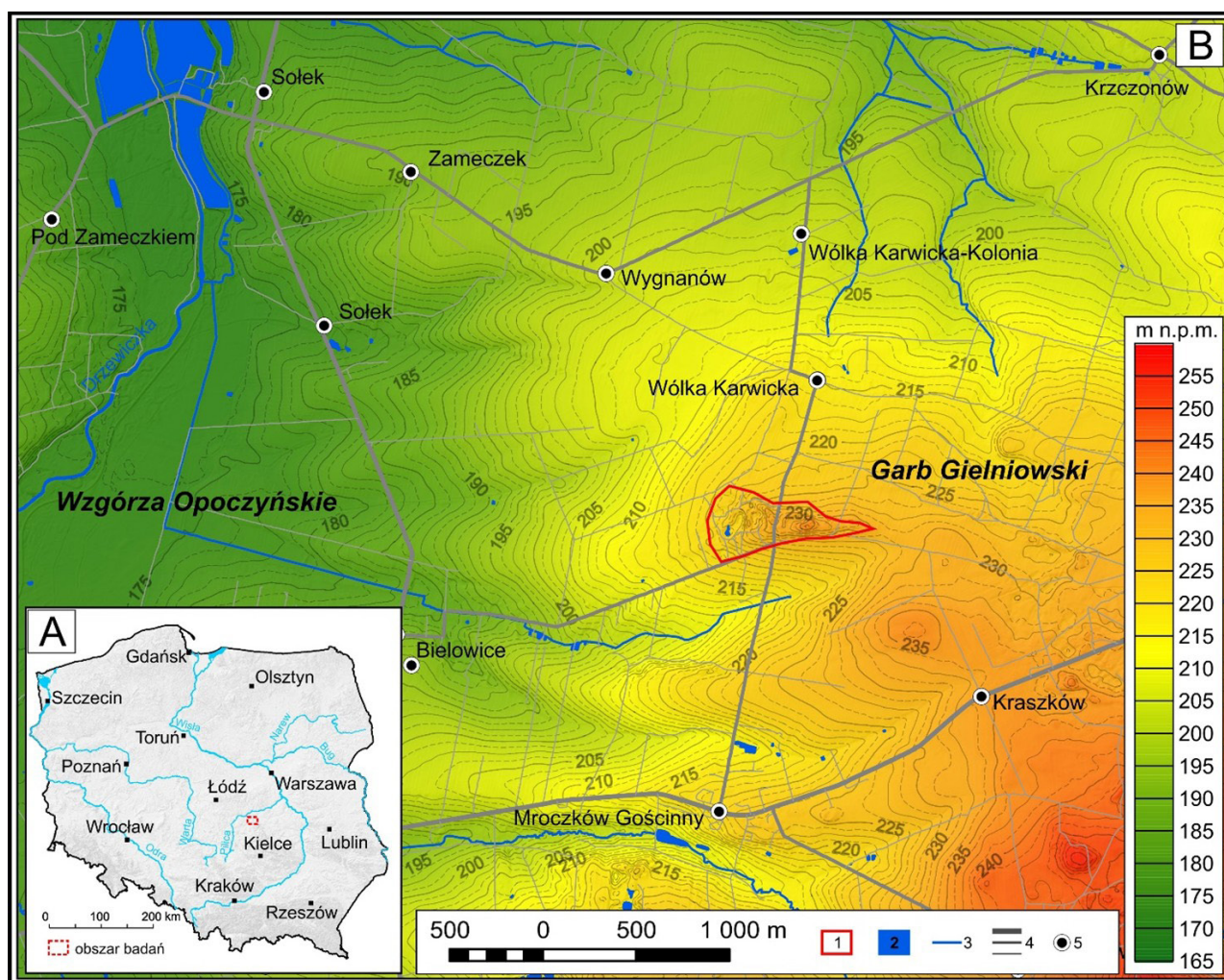
© by the author, licensee University of Lodz – Lodz University Press, Lodz, Poland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license CC BY-NC-ND 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)
Funding information: Not applicable. Conflicts of interests: None. Ethical considerations: The Author assures of no violations of publication ethics and takes full responsibility for the content of the publication.

2. Lokalizacja obszaru badań

Jazia Góra położona jest w południowo-wschodniej części województwa łódzkiego, w gminie Opoczno, na granicy czterech wsi: Wólki Karwickiej, Kraszkowa, Mroczkowa i Bielowic. Droga gminna łącząca Mroczków Gościnny z Wólką Karwicką dzieli wzgórze na dwie części, zaś droga krajowa nr 12 biegnie 1,45 km na południe przecinając takie miejscowości, jak Mroczków Gościnny oraz miasto Opoczno. Na południe od wzniesienia przebiega droga gminna prowadząca do wsi Bielowice (www.geoportal.gov.pl).

Obszar Jaziej Góry według podziału fizycznogeograficznego Polski znajduje się: w prowincji Wyżyn Polskich (34), podprowincji Wyżyny Małopolskiej (342), makroregionie Wyżyny Przedborskiej (342.1) oraz mezoregionie Wzgórz

Opoczyńskich (342.12) (Solon i in. 2018). Powierzchnia obszaru badań wynosi 36 km². Większość terenu znajdującego się w niedalekiej odległości od Jaziej Góry charakteryzuje się niewielkimi deniwelacjami oscylującymi na granicy 10–20 m. Punkt kulminacyjny Jazia Góra znajduje się na wysokości 234 m n.p.m., a jej współrzędne wynoszą 51°23'37.862" N, 20°23'14.782" E. Na krańcach obszaru objętego badaniami występują koryta rzeczne Drzewiczki i Brzuśni. W pobliżu koryta rzeki Brzuśni występują stoki o deniwelacjach około 10 m (rys. 1). We wschodniej oraz południowej części teren jest porośnięty lasem i zajmuje on około 800 ha. Sama Jazia Góra, wyłączając obszar eksploatacyjny, jest w całości pokryta drzewostanem lasu mieszanego. Resztę całego terenu pokrywają grunty orne oraz łąki i zabudowania (www.geoportal.gov.pl).



Rys. 1. Położenie Jaziej Góry na tle Polski (A), na tle regionalizacji fizycznogeograficznej (Solon i in. 2018) oraz ukształtowania powierzchni terenu: 1 – obszar badań, 2 – zbiornik wodny, 3 – rzeki, 4 – drogi, 5 – miejscowości

Fig. 1. Location of Jazia Góra in Poland (A), in the context of physio-geographic regionalization (Solon *et al.* 2018) and terrain features: 1 – study area, 2 – water reservoir, 3 – rivers, 4 – roads, 5 – localities

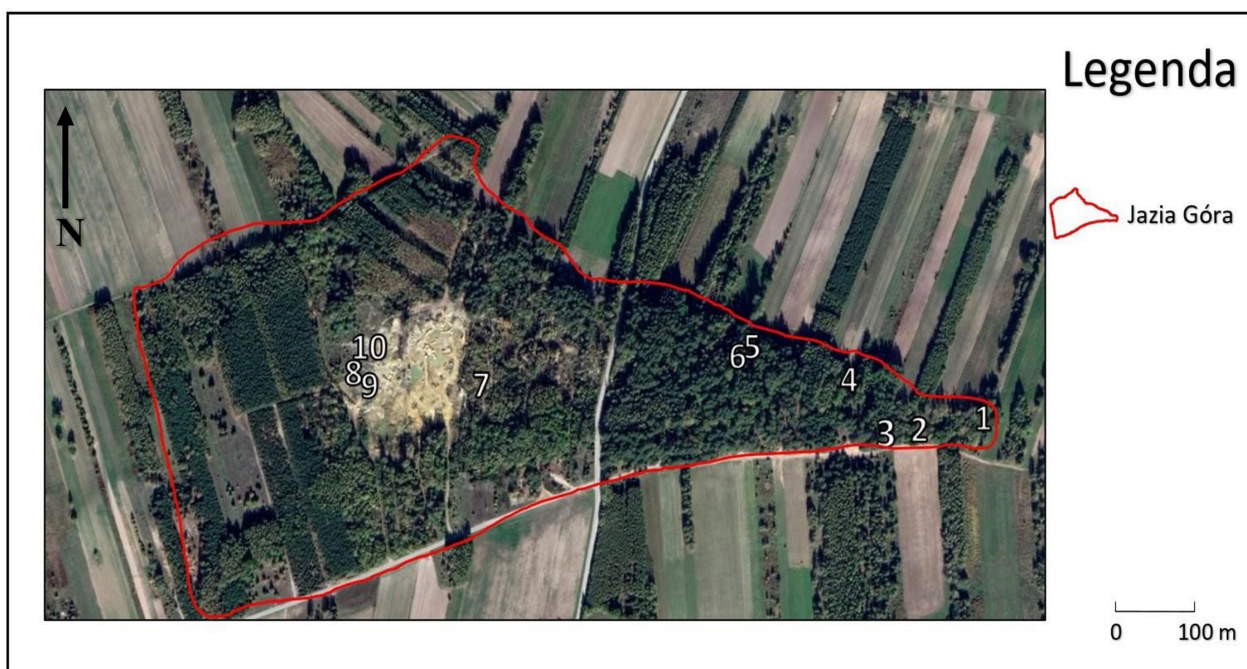
3. Metody badań

Prace realizowane przez autora można podzielić na trzy etapy. Etap pierwszy dotyczył prac kameralnych przed prospekcją terenową. Obejmował on m.in.: analizę map oraz przygotowanie numerycznego modelu terenu ze strony www.geoportal.gov.pl.

Drugim etapem były badania terenowe, podczas których zostały pobrane próbki piaskowców oraz wykonano dokumentację fotograficzną wyrobisk, a także prześledzono struktury sedimentacyjnych kopalnych warstw piaskowców. Na mapie (rys. 2) zaznaczono lokalizacje poboru dziesięciu próbek piaskowców z obszaru Jaziej Góry. Pierwszych sześć próbek zostało pobranych ze wschodniej części wzniesienia, a więc z fragmentu wyłączonego z eksploatacji wiele lat temu. Kolejne cztery próbki pobrano z zachodniej części wzniesienia, czyli obszaru objętego wydobywaniem piaskowca. Dodatkowo badaniami porównawczymi objęto sześć próbek piaskowców pochodzących z wybranych złóż Polski (Brzeźno, Grudzeń Las, Radków, Śmiłów, Wiśniówka oraz Jotniki). W obrębie Jaziej Góry wyznaczono dziesięć stanowisk badawczych (I–X). W każdym z nich pobrano po trzy próbki piaskowca, z wyjątkiem I. stanowiska, gdzie wydzielono cztery próbki oraz VII. stanowiska, gdzie pobrano sześć próbek. Całkowita liczba próbek wyniosła trzydzieści cztery.

W trzecim etapie wykonano analizę petrograficzną i dokonano analiz geochemicznych próbek piaskowców w warunkach laboratoryjnych. Analizy 10 próbek piaskowców zostały wykonane w Muzeum Archeologicznym i Etnograficznym w Łodzi. Wyniki badań przedstawiono na wykresie, w oparciu o klasyfikację Herrona z 1988 roku. Następnie wykonano analizę wykorzystując spektrometrię fluorescencji rentgenowskiej, aby oznaczyć dokładnie zawartość pierwiastków, zyskując nieniszczący charakter analiz, a także ich mobilność (Skupio 2014). Badania geochemiczne z użyciem przenośnych spektrometrów fluorescencji rentgenowskiej (XRF) pozwoliły na dokładne określenie składu chemicznego skał, gdyż analiza ta opiera się na wykrywaniu charakterystycznego promieniowania rentgenowskiego, emitowanego przez pierwiastki obecne w próbce, a wzbudzanego przez napromieniowanie jej lampą rentgenowską. Metoda ta umożliwia również określenie głównych składników minerałów i skał zawartych w badanej próbce (Maneck, Niewodniczański 1979). Do analiz wykorzystano ręczny spektrometr pXRF Vanta firmy Olympus. Wyniki przedstawiono w arkuszu MS Excel i wykonano wykresy przedstawiające zawartość pierwiastków, a także wykresy obrazujące ich zawartość po przeliczeniu na tlenki.

Poza tym cenną informacją były widoczne struktury sedimentacyjne na powierzchniach kopalnych warstw piaskowca, które pokazywały formy riplemarkowe, będące wskaźnikami słabopłynących wód podczas osadzania się osadu (rys. 3).



Rys. 2. Miejsca poboru próbek (1–10) na tle mapy satelitarnej (źródło: Google Earth – 2019)

Fig. 2. Sampling locations (1–10) on a satellite map background (source: Google Earth – 2019)



Rys. 3. Powierzchniowe riplemarki podłużne na paleopowierzchniach wskazujące kierunek transportu niesionego osadu przed jego złożeniem – NW (fot. D. Witkowski, 2022)

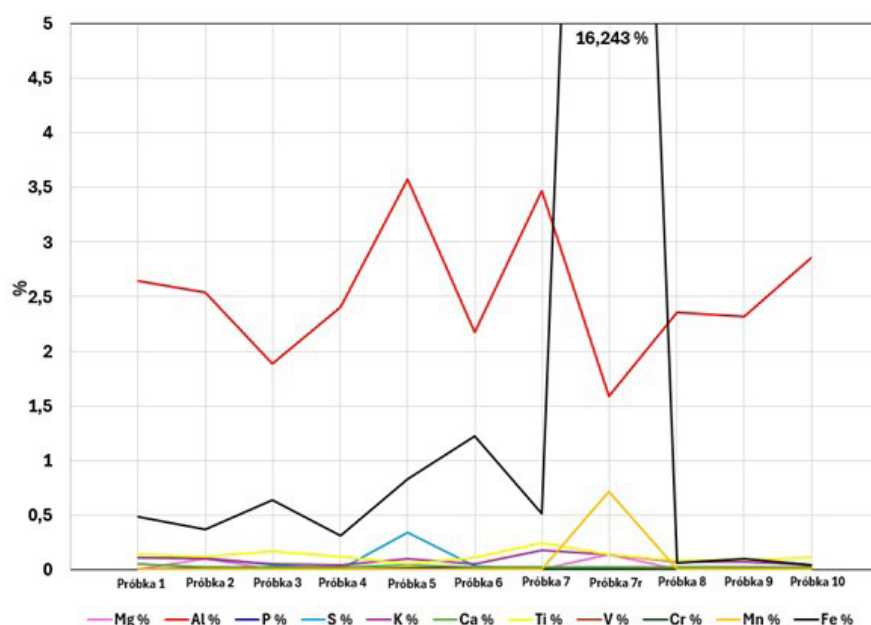
Fig. 3. Surface longitudinal ripplemarks on palaeosurfaces indicating the direction of transport of carried sediment prior to deposition – NW (photo D. Witkowski, 2022)

4. Cechy piaskowców z Jaziej Góry

4.1. Wyniki badań geochemicznych – XRF

Badania próbek piaskowców przeprowadzone za pomocą metody XRF pozwoliły poznać ich skład pierwiastkowy. Krzem jest dominującym pierwiastkiem w składzie piaskowców zarówno z Jaziej Góry, jak i innych badanych lokalizacji (tab. 1). Jego wartości nie różnią się znacząco (rys. 5, rys. 7). Najwyższy udział krzemu spośród wszystkich stanowisk na Jaziej Górze zaobserwowano w próbce 2 – prawie 42%. W piaskowcach z Wiśniówki zawartość krzemu sięga ok. 45,5%, natomiast najniższą

zawartość tego pierwiastka odnotowano w próbce 7r – niecałe 35% oraz w miejscowości Grudzeń Las – 36,7%. Innym znaczącym pierwiastkiem jest glin, którego zawartość w próbce 7r wynosi około 1,6%, zaś największy udział procentowy tego pierwiastka występuje w próbce numer 5 (rys. 6). W pozostałych lokacjach największą zawartością glinu odznacza się piaskowiec ze stanowiska Grudzeń Las – 2,8%, a najniższą w Śmiłowie – 0,4%. Zawartość procentowa żelaza jest nieznaczna. W niemal wszystkich próbkach nie przekracza ona 1%, lecz w próbce 7r przekracza ona aż 16,2%. Pozostałe pierwiastki występują w śladowych ilościach, zaś wanad nie występuje w żadnej z próbek.



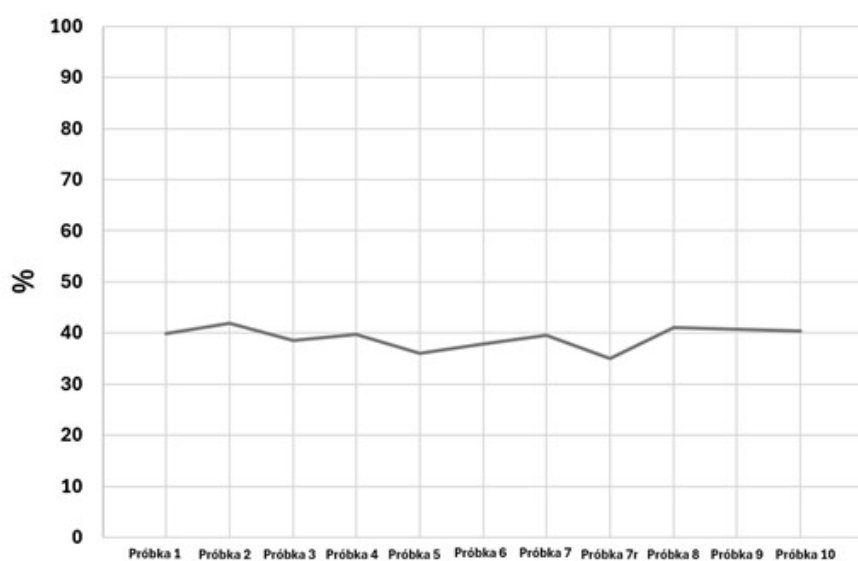
Rys. 4. Zawartość pierwiastków bez krzemu w próbkach (1–10) piaskowców z Jaziej Góry

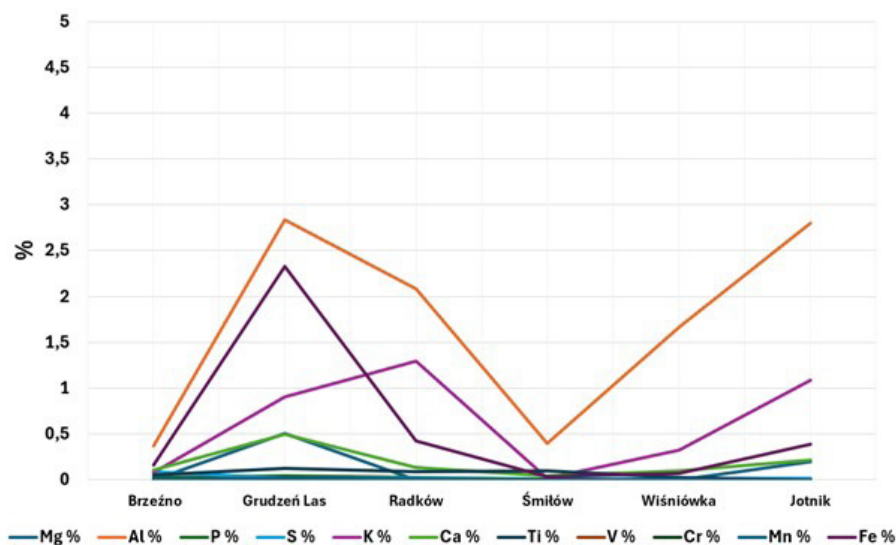
Fig. 4. Elemental content without silicon in samples (1–10) of sandstones from Jaziej Góra

Tabela 1. Zawartość pierwiastków w próbkach (1–10) piaskowców z Jaziej Góry oraz z piaskowców testowych (6 oznaczeń)**Table 1.** Elemental content of the samples (1–10) of the Jazja Góra sandstones and the test sandstones (6 determinations)

Pierwiastek	Jednostki	Próbka 1.	Próbka 2.	Próbka 3.	Próbka 4.	Próbka 5.	Próbka 6.	Próbka 7.	Próbka 7r.	Próbka 8.
Mg	%	0	0,099	0	0	0	0	0	0,133	0
Al	%	2,641	2,542	1,889	2,405	3,575	2,170	3,470	1,592	2,360
Si	%	39,970	41,978	38,584	39,678	36,040	37,929	39,490	34,920	41,086
P	%	0,007	0,008	0,007	0,007	0,014	0,026	0,009	0,010	0,006
S	%	0,107	0,108	0,040	0	0,337	0,034	0	0,010	0
K	%	0,106	0,101	0,054	0,041	0,095	0,054	0,179	0,133	0,069
Ca	%	0,053	0,026	0,026	0,022	0,043	0,022	0,021	0,026	0,018
Ti	%	0,138	0,115	0,169	0,118	0,053	0,109	0,247	0,139	0,079
V	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	%	0	0	0	0,003	0	0	0,003	0,004	0
Mn	%	0,002	0,005	0	0,003	0,003	0,002	0	0,715	0
Fe	%	0,486	0,367	0,641	0,311	0,828	1,219	0,512	16,243	0,064

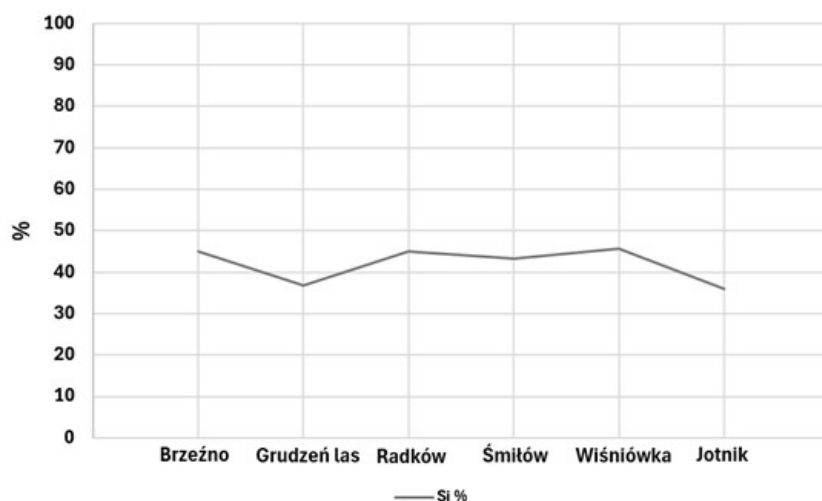
Pierwiastek	Jednostki	Próbka 9.	Próbka 10.	Brzeźno	Grudzień Las	Radków	Śmiłów	Wiśniówka	Jotnik
Mg	%	0	0	0	0,5	0	0	0	0,197
Al	%	2,315233	2,852867	0,37090	2,833	2,07915	0,39230	1,6664	2,79995
Si	%	40,646430	40,364270	45,07710	36,6713	44,9565	43,17775	45,5725	36,02795
P	%	0,006933	0,005733	0,02160	0,04255	0,0213	0,00415	0,00695	0,00565
S	%	0	0	0,08990	0,0116	0,0177	0	0,01265	0,0105
K	%	0,072367	0,039933	0,07380	0,89845	1,2932	0,01070	0,3263	1,0842
Ca	%	0,017833	0,018467	0,10570	0,49375	0,1276	0,03775	0,0959	0,21525
Ti	%	0,087433	0,1057	0,04655	0,1226	0,0895	0,10005	0,0221	0
V	%	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	%	0	0,003867	0	0,00515	0	0	0	0
Mn	%	0	0	0,00230	0,01135	0,00940	0	0,0024	0
Fe	%	0,094967	0,045333	0,15825	2,3249	0,41865	0,03525	0,0694	0,3815

**Rys. 5.** Zawartość krzemu w próbkach (1–10) piaskowców z Jaziej Góry**Fig. 5.** Silicon content of samples (1–10) of sandstones from Jazja Góra



Rys. 6. Zawartość pierwiastków bez krzemu w próbkach piaskowców testowych

Fig. 6. Elemental content without silicon in test sandstone samples



Rys. 7. Zawartość krzemu w próbkach piaskowców testowych

Fig. 7. Silicon content of test sandstone samples

Wyniki szczegółowych badań petrograficznych, które przeprowadzono na okazach piaskowca z Jaziej Góry oraz na próbkach testowych z innych lokalizacji, umożliwiły precyzyjne sklasyfikowanie tych próbek zgodnie z typologią piaskowców zaproponowaną przez Herrona w 1988 r. po wykonaniu niezbędnych obliczeń (tab. 2). Klasyfikacja ta pozwala na dokładne określenie rodzaju i właściwości petrograficznych piaskowców, co jest kluczowe dla zrozumienia ich genezy i potencjalnych zastosowań. Większość badanych próbek (1, 2, 3, 4, 5, 6 oraz 7r) została sklasyfikowana jako piaskowce żelaziste, co sugeruje dość wysoką zawartość minerałów żelaza, zwłaszcza w próbce 7r (rys. 8). Probki oznaczone numerami 9, 8 i 10 należą do subarkoz, charakteryzujących się mniejszą zawartością kwarcu i większą ilością matrycy skaleniowej. Probka 7 została zaklasyfikowana jako litarenit, co wskazuje na jej złożony skład mineralogiczny z dominującą zawartością litoklastów. Pozostałe próbki z badanych lokalizacji przypisano do arenitów kwarcowych, arkoz, subarkoz oraz litarenitów, co odzwierciedla zróżnicowanie składu mineralnego i teksturalnego badanych piaskowców.

4.2. Cechy strukturalne osadu

Na powierzchni wzniesienia Jaziej Góry, w miejscach nieprzekształconych przez eksploatację piaskowca, można zaobserwować charakterystyczne paleoripplemarki. Te struktury faliste są świadectwem dawnych procesów sedymentacyjnych. Szczegółowa analiza paleoripplemarków pozwala określić kierunek transportu niesionego osadu, który w przypadku przedstawionym na ryc. 4 wskazuje na północno-zachodni kierunek. Ripplemarki te są typu podłużnego i powstały w środowisku płytkiego morza brackicznego. Charakteryzują się niską wysokością, osiągając maksymalnie niespełna 1 cm.

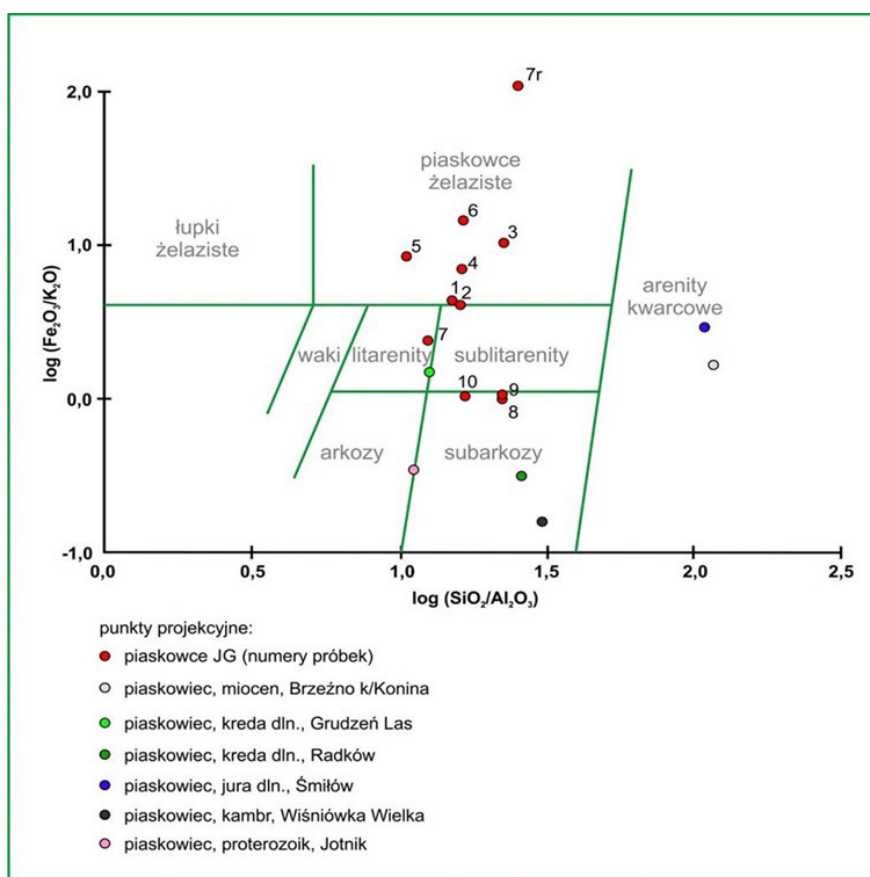
5. Dyskusja i wnioski

Jazia Góra stanowi niezwykle istotny punkt badawczy w kontekście analizy wpływu różnych procesów geomorfologicznych, które kształtowały ten obszar kilkadziesiąt milionów lat. Piaskowce tworzące to wzniesienie pochodzą z okresu dolnej jury. Dzięki pracom Pieńkowskiego

Tabela 2. Przeliczenia tlenków (w %) na potrzeby geochemicznej klasyfikacji piaskowców wg Herrona (1988)**Table 2.** Oxide conversions (%) for the geochemical classification of sandstones according to Herron (1988)

	Próbka 1.	Próbka 2.	Próbka 3.	Próbka 4.	Próbka 5.	Próbka 6.	Próbka 7.	Lokal 7r.	Próbka 8.
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	17,14	18,69	23,13	18,68	11,41	19,79	12,88	24,84	19,71
$\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$	1,23	1,27	1,36	1,27	1,06	1,3	1,11	1,4	1,29
$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$	4,43	3,51	11,44	7,22	8,39	21,63	2,75	117,59	0,89
$\log (\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$	0,65	0,54	1,06	0,86	0,92	1,34	0,44	2,07	-0,05

	Próbka 9.	Próbka 10.	Brzeźno	Grudzień Las	Radków	Śmiłów	Wiśniówka	Jotnik
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	19,88	16,02	137,61	14,66	24,48	124,62	30,96	14,57
$\log (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$	1,3	1,2	2,14	1,17	1,39	2,1	1,49	1,16
$\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$	1,26	1,09	2,06	2,49	0,31	3,17	0,2	0,34
$\log (\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$	0,1	0,04	0,31	0,4	-0,51	0,5	-0,69	-0,47

**Rys. 8.** Wyniki badań petrograficznych piaskowca z Jaziej Góry na tle podziału typów petrograficznych piaskowców (program PAST)**Fig. 8.** Results of petrographic studies of the Jazja Góra sandstone against the background of the division of sandstone petrographic types (PAST programme)

(1997, 2004), posiadamy obszerną wiedzę na temat ogólnej budowy geologicznej oraz genezy przekształceń ukształtowania tego terenu. W okresie jury dolnej teren ten znajdował się w strefie płytkiego morza brakicznego, charakteryzującego się wielokrotnym cyklem osadzania się materiałów morskich i lądowych (Guzik 2017). Dowody w postaci riplemarków (rys. 3) oraz licznych skamieniało-

ści morskich organizmów i roślin, o których wspominają Gierliński i in. (2006), potwierdzają dawne życie w tym regionie. Pomimo że zróżnicowanie petrograficzne piaskowców jest niewielkie, wysoka zawartość żelaza w jednej z próbek może być wynikiem różnych procesów diagenety. Analiza wyników badań składu pierwiastkowego próbek piaskowca sugeruje, że te mezozoiczne skały, mimo

znacznych różnic odległościowych, są do siebie bardzo podobne. Przykładem są piaskowce z miejscowości Grudzeń Las i Śmiłowa, które mają podobną genezę powstawania, co piaskowce Jaziej Góry będące efektem gromadzenia się osadów w środowisku płytkiego morza brakicznego, rozciągającego się do granic dzisiejszych Gór Świętokrzyskich, co skutkuje niemal identycznym składem. Mimo licznych badań nad północno-zachodnim obrzeżem Gór Świętokrzyskich, publikacji poświęconych wyłącznie stanowisku Jaziej Góry jest niewiele. Kolejne badania, wykorzystujące nowe metody i technologie, mogą znacząco przyczynić się do lepszego poznania i zrozumienia procesów kształtujących ten region na przestrzeni milionów lat. Wykorzystanie interdyscyplinarnych podejść, integrujących wiedzę z zakresu geologii, paleontologii i geomorfologii, będzie kluczowe dla zgłębienia historii geologicznej tego obszaru.

Podziękowania

Serdeczne podziękowania składam dr. Marcinowi Krystkowi z Katedry Geologii i Geomorfologii UŁ za pomoc i cenne uwagi merytoryczne w trakcie przeprowadzania badań, dr. Aleksandrowi Szmidtowi z Katedry Geografii Fizycznej UŁ za wsparcie w procesie tworzenia ilustracji oraz pracownikom Muzeum Archeologicznego i Etnograficznego w Łodzi za udostępnienie sprzętu wykorzystanego do analizy geochemicznej.

6. Literatura

- Gierliński G., Ploch I., Sabath K., Ziaja J. 2006. Zagadkowa roślinina z wczesnej jury Gór Świętokrzyskich. *Przegląd Geologiczny* 54(2): 139–141.
- Guzik K. 2017. Możliwości wykorzystania piaskowców jurajskich północno-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich jako kamieni architektonicznych w zależności od ich litologii. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN: 9–18.
- Herron M.M. 1988. Geochemical classification of terrigenous sands from shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology* 58(5): 820–829. <https://doi.org/10.1306/212F8E77-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- Manecki A., Niewodniczański J. 1979. Rentgenowska analiza fluorescencyjna. Metody badań minerałów i skał. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa: 632–657.
- Pieńkowski G. 1997. Charakterystyka sedimentologiczna jury dolnej w obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich. *Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce. Prace PIG 153*, Warszawa: 379–382.
- Pieńkowski G. 2004. The epicontinental Lower Jurassic of Poland. *Polish Geological Institute Special Papers 12*, Warszawa: 5–154.
- Skupio R. 2014. Wykorzystanie przenośnego spektrometru XRF do pomiarów składu chemicznego skał. *Nafta – Gaz LXX (11)*. Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy, Kraków: 771–777.
- 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., Krąż P., Lechnio J., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papińska E., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziaja W. 2018. Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geographia Polonica* 91(2): 143–170. <https://doi.org/10.7163/GPol.0115>
- Ziomek J. 2001. Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, arkusz Opoczno. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

www.geoportal.gov.pl

Małgorzata Górecka¹ • Marcin Jaskulski² ⁽¹⁾ Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, studentka Instytutu Geografii Miast, Turystyki i Geoinformacji⁽²⁾ Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Instytut Geografii Miast, Turystyki i Geoinformacji

E-mail: UL0254417@edu.uni.lodz.pl; marcin.jaskulski@geo.uni.lodz.pl

Analiza rzeźby terenu miejscowości zawierających w swojej nazwie podstawę słowotwórczą „gór” na terenie województwa łódzkiego z wykorzystaniem GIS

Analysis of the terrain relief of localities containing the word-formation basis “gór” in their name within the Łódź Voivodeship using GIS

Zarys treści

Celem pracy jest analiza ukształtowania terenu miejscowości zawierających w swojej nazwie podstawę wyrazową „gór” w województwie łódzkim. Wybrany obszar badawczy, województwo łódzkie, położony jest w centralnej Polsce i charakteryzuje się zróżnicowanym krajobrazem, obejmującym zarówno tereny miejskie, jak i wiejskie. Zidentyfikowano łącznie 98 wsi zawierających bazę wyrazową „gór”. Takie nazwy sugerują związek z terenem i mogą odzwierciedlać specyficzne cechy geograficzne obszaru. Praca koncentruje się na analizie terenu w obrębie dwóch buforów: 5 km i 2 km. Oczekiwano, że teren wokół tych miejscowości będzie bardziej zróżnicowany, z większymi różnicami wysokości i nachylenia. Przeprowadzenie dwóch analiz z wykorzystaniem narzędzi GIS pozwoliło na wizualizację wyników, co doprowadziło do łatwiejszego zrozumienia powiązań między terenem a bazą wyrazową „gór”. Zarówno pierwsza, jak i druga analiza uwypukliły korelację potencjalnej zmienności terenu w południowej części województwa łódzkiego. Na obszarze, gdzie rozpoczyna się pas wyżynny, miejscowości wykazujące te korelacje ujawniły się w obu analizach. Układ przestrzenny wskazuje, że relacje te zostały wykazane zarówno w południowo-wschodniej, jak i centralnej części prowincji w obu analizach, podczas gdy w części północnej zostały uwypuklone tylko w drugiej analizie. W badaniu wykorzystano dane z Geoportalu, Ortofotomap, Krajowego Rejestru Nazw Geograficznych, Bazy Danych Obiektów Geograficznych i Głównego Urzędu Statystycznego.

Słowa kluczowe Toponimy, analizy spadków, rzeźba terenu, GIS.

Abstract

The aim of this work is to analyse the terrain of localities containing the word base of “gór” in the Lodz province. The selected research area, the Łódź province, is located in central Poland and is characterised by a diverse landscape, including both urban and rural areas. A total of 98 villages containing the word base of “gór” were identified. Such names suggest a connection with the terrain and may reflect specific geographical features of the area. The work focuses on the analysis of the terrain within two buffers: 5 km and 2 km. It was expected that the terrain around these localities would be more diverse, with greater differences in height and slope. Conducting two analyses using GIS tools allowed for the visualisation of the results, which led to an easier understanding of the connections between the terrain and the word base of “gór”. Both the first and the second analyses highlighted the correlation of potential terrain variability in the southern part of the Łódź province. In the area where the upland belt begins, localities showing these correlations were revealed in both analyses. The spatial arrangement indicates that the relationships were demonstrated in both the southeastern and central parts of the province in both analyses, while in the northern part they were highlighted only in the second analysis. The study used data from Geoportal, Orthophotomaps, the National Register of Geographical Names, the Database of Geographical Objects and the Central Statistical Office.

Keywords Toponyms, slope analysis, relief, GIS.

1. Wprowadzenie – obszar, cel i metody badań

Nazwy miejscowości mają różne pochodzenie, według klasyfikacji Taszyckiego (1958), dzielą się na cztery grupy:

- Grupa A: nazwy, które bezpośrednio odzwierciedlają cechy geograficzne miejsca, takie jak hydronimy czy oronimy;
- Grupa B: nazwy pochodzące od nazwisk ludzi, którzy zakładali lub byli właścicielami osady;

- Grupa C i Grupa D: nazwy o bardziej złożonym lub pochodzeniowym charakterze, mogące odwoływać się do aspektów kulturowych, historycznych lub społecznych.

Geograficzne hydronimy związane są z nazwami rzek, jezior lub innych zbiorników wodnych, a oronimy odnoszą się do form rzeźby terenu, tj. gór, wzgórz czy pasm górskich itp. (Olenderek 2011; Kowalczyk-Heyman 2022).

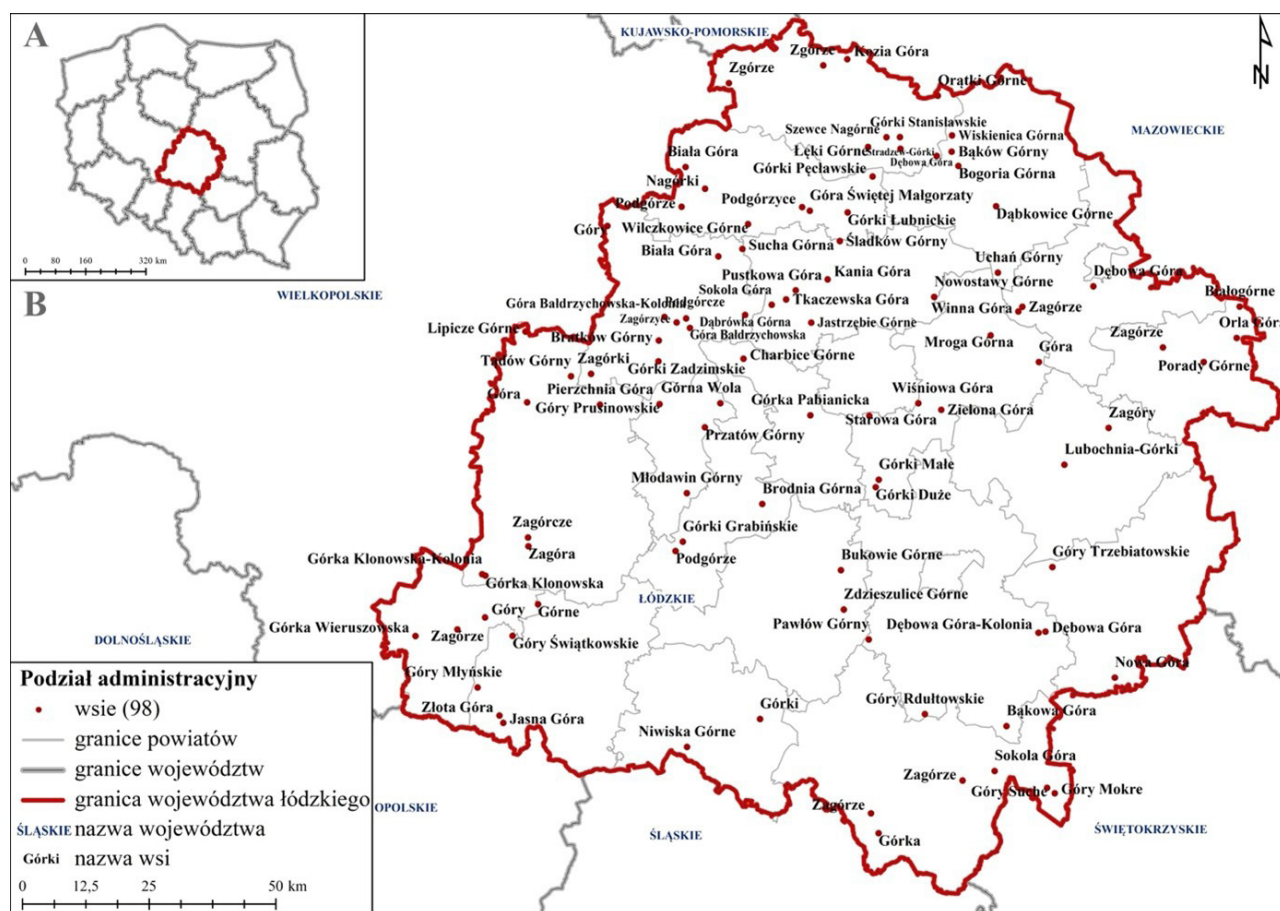
Podstawa słowotwórcza jest częścią wyrazu, która stanowi bazę do utworzenia nowych wyrazów za pomocą

formantów, takich jak przedrostki, wrostki i przyrostki. Podstawa słowotwórcza „gór” narzuca refleksję, iż teren może być bardziej urozmaicony oraz zróżnicowany pod względem wysokościowym. Nazwy, takie jak Góry Duże, Wiśniowa Góra czy Brodnia Górna kojarzą się czytelnikowi z istnieniem w tej okolicy terenu „górzystego”, urozmaiconego, wyższego z wyraźnym wzniesieniem.

Rzeźba terenu to jeden z istotnych elementów środowiska geograficznego, który dzięki postępowi w dziedzinie geodezji, a później rozwojowi systemów informacji geograficznej (GIS), można dokładnie zmierzyć i precyzyjnie przedstawić na mapach. Nowoczesne technologie pozwalają na bardzo szczegółowe odwzorowanie struktury powierzchni Ziemi, co umożliwia analizowanie liczbowych parametrów opisujących różne cechy ukształtowania terenu. Rozwój cyfrowej geomorfometrii rozpowszechnił łatwo dostępne narzędzia geoinformatyczne, umożliwiające stosunkowo szybkie analizy rastrowe i wizualizacje ich wyników. Literatura przedmiotu opisuje wiele wskaźników geomorfometrycznych. Do najbardziej podstawowych narzędzi używanych przez badaczy, udostępnianych przez większość producentów oprogramowania, należą: spadki (*Slope*) i ekspozycja (*Aspect*) (Urbański 2008; Pike i in.

2009). Innym sposobem ilościowego przedstawienia urozmaicenia rzeźby jest topograficzny indeks pozycji (TPI). Porównuje on wysokość każdej komórki w rastrowym modelu terenu do średniej wysokości określonego sąsiedztwa dookoła tej komórki (Weiss 2001). Jeszcze bardziej złożony sposób analiz zaproponowali Jasiewicz i Stępiński (2013). Zaproponowane przez nich geomorfony stanowią efekt dopasowania reprezentacji dowolnego punktu badanej powierzchni do jednego z 10 wzorców reprezentujących elementarne formy terenu. W niniejszym opracowaniu autorzy zastosowali jedną z podstawowych analiz geomorfometrycznych, a mianowicie średnie spadki terenu wyznaczane przez narzędzie *Slope* z pakietu Spatial Analyst, w oprogramowaniu ESRI ArcMap. Do obliczania nachylenia, komputer bada wartość piksela i jego sąsiadów, dopasowując płaszczyznę styczną do powierzchni topograficznej. Kąt, jaki tworzy wyznaczona na tej płaszczyźnie linia maksymalnego spadku z płaszczyzną poziomą, to nachylenie (*Slope*) (Kozak 1997).

Obszarem badań jest województwo łódzkie (rys. 1), położone w centralnej Polsce. Graniczy z województwem kujawsko-pomorskim, mazowieckim, świętokrzyskim, śląskim, opolskim oraz wielkopolskim.



Rys. 1. Położenie obszaru badań na tle mapy konturowej Polski z podziałem na województwa (A). Lokalizacja analizowanych miejscowości (B) (oprac. własne na podstawie danych z PRNG, PRG oraz GUS)

Fig. 1. Location of the study area on the outline map of Poland divided into voivodeships (A). Location of the analyzed localities (B) (own study based on data from the State Register of Geographical Names, the State Register of Borders and the Central Statistical Office)

Województwo łódzkie zlokalizowane jest w strefie przejściowej, pomiędzy Wyżynami Polskimi a Niżem Środkowoeuropejskim (Solon i in. 2018). Charakterystycznym obiektem fizycznogeograficznym tego regionu jest wyniesiony półwysep, otoczony poziomą 200 m n.p.m., który na południu łączy się z Wyżyną Małopolską. Teren województwa łódzkiego jest interesujący pod względem geologii i geomorfologii glacialnej. Przebiegają tutaj granice kilku nasunięć lądolodu, od maksymalnego zasięgu zlodowacenia Odry, poprzez nasunięcie Warty, aż po granicę zlodowacenia wistuliańskiego (Turkowska 2006).

Na obszarze występują więc liczne formy polodowcowe o różnym wieku i różnym zachowaniu, np. wysoczyzny morenowe, wzgórza, pagórki kemowe (Rdzany 2009). Ponadto występują liczne formy eoliczne, które w istotny sposób urozmaicają rzeźbę terenu (Dylikowa 1967; Krajewski 1977; Manikowska 1985). Pomimo znacznej różnorodności form rzeźby terenu, na obszarze województwa łódzkiego brak jest gór w ścisłym tego słowa znaczeniu, zgodnie z definicją przedstawioną przez Klimaszewskiego (1995). Analizy prowadzone w niniejszej pracy skupiają się zatem na identyfikacji terenów o bardziej zróżnicowanej rzeźbie w porównaniu z otoczeniem.

Celem niniejszego opracowania jest odpowiedź na pytanie: Czy istnieje korelacja pomiędzy nazwą miejscowości a charakterystyką rzeźby terenu w województwie łódzkim? Jeśli w nazwie miejscowości występuje podstawa słowotwórcza „gór” możemy domniemywać, że w okolicy występują obszary o bardziej urozmaiconym ukształtowaniu.

Aby zweryfikować tę hipotezę, przeprowadzono analizę geomorfometryczną przy użyciu narzędzi GIS, skupiając się na średnich wartościach spadków terenu. Projekt zrealizowano w oprogramowaniu ESRI Arc Map 10.8.2, co umożliwiło szczegółowe zbadanie związku pomiędzy nazwami miejscowości a charakterystyką rzeźby terenu w jej najbliższym otoczeniu oraz całym województwie łódzkim.

2. Źródła danych oraz ich przygotowanie do analiz

Do przeprowadzenia badań wykorzystano różnorodne źródła danych. Na pierwszym etapie prac użyto Państwowy Rejestr Nazw Geograficznych (PRNG), pobrany z Geoportalu, który pozwolił na zidentyfikowanie miejscowości, w których występuje podstawa słowotwórcza „gór” na terenie całego województwa łódzkiego. Zbiór danych z PRNG został pobrany w formacie shp. Nazwy miejscowości zostały zweryfikowane na stronie internetowej Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) poprzez pobranie rejestru miejscowości SIMC po to, aby we wczesnej fazie analizy uniknąć błędów. Dane udostępniane są w formatach csv i xml. Wybrano format csv, co pozwoliło na prostsze zaimportowanie ich do programu Microsoft Excel, aby dokładnie odczytać i przeanalizować informacje odnośnie do poszczególnych miejscowości. Pomogło to zweryfikować wszystkie dane, a w późniejszym etapie wprowadzić je do tabeli atrybutów w programie ESRI ArcMap. Oba sposoby wykazały, iż takich miejscowości jest 98, co ukazuje tabela 1.

Tabela 1. Miejscowości zawierające w swojej nazwie podstawę słowotwórczą „gór” na terenie województwa łódzkiego

Table 1. Places with the word base “gór” in their names in the Łódź Voivodeship

Lp.	Miejscowość	Gmina	Powiat
1	Bąków Górny	Zduny	łowicki
2	Bąkowa Góra	Ręczno	piotrkowski
3	Biała Góra	Grabów	łęczycki
4	Biała Góra	Wartkowice	poddębicki
5	Białogórne	Biała Rawska	rawski
6	Bogoria Górna	Zduny	łowicki
7	Bratków Górny	Zadzim	poddębicki
8	Brodnia Górna	Buczek	łaski
9	Bukowie Górne	Drużbice	bełchatowski
10	Charbice Górne	Lutomiersk	pabianicki
11	Dąbkowice Górne	Łowicz	łowicki
12	Dąbrówka Górna	Dalików	poddębicki
13	Dębowa Góra	Bedlno	kutnowski
14	Dębowa Góra	Aleksandrów	piotrkowski
15	Dębowa Góra	Skierniewice	skierniewicki
16	Dębowa Góra-Kolonia	Aleksandrów	piotrkowski
17	Góra	Jeżów	brzeziński
18	Góra	Warta	sieradzki
19	Góra Bałdrzychowska	Poddębice	poddębicki
20	Góra Bałdrzychowska-Kolonia	Poddębice	poddębicki

Lp.	Miejscowość	Gmina	Powiat
21	Góra Świętej Małgorzaty	Góra Świętej Małgorzaty	łęczycki
22	Górka	Gidle	radomszczański
23	Górka Klonowska	Klonowa	sieradzki
24	Górka Klonowska-Kolonia	Klonowa	sieradzki
25	Górka Pabianicka	Pabianice	pabianicki
26	Górka Wieruszowska	Wieruszów	wieruszowski
27	Górki	Strzelce Wielkie	pajęczański
28	Górki Duże	Tuszyn	łódzki wschodni
29	Górki Grabińskie	Widawa	łaski
30	Górki Łubnickie	Piątek	łęczycki
31	Górki Małe	Tuszyn	łódzki wschodni
32	Górki Pęcławskie	Piątek	łęczycki
33	Górki Stanisławskie	Bedlno	kutnowski
34	Górki Zadzimskie	Zadzim	poddębicki
35	Górna Wola	Szadek	zduńskowolski
36	Górne	Ostrówek	wieluński
37	Góry	Uniejów	poddębicki
38	Góry	Sokolniki	wieruszowski
39	Góry Młyńskie	Biała	wieluński

40	Góry Mokre	Przedbórz	radomszczański
41	Góry Prusinowskie	Szadek	zduńskowolski
42	Góry Rdułtowskie	Gorzkowice	piotrkowski
43	Góry Suche	Przedbórz	radomszczański
44	Góry Świątkowskie	Biała	wieluński
45	Góry Trzebiatowskie	Mniszków	opoczyński
46	Jasna Góra	Mokrsko	wieluński
47	Jastrzębie Górne	Aleksandrów Łódzki	zgierski
48	Kania Góra	Zgierz	zgierski
49	Kozia Góra	Strzelce	kutnowski
50	Łęki Górne	Krzyżanów	kutnowski
51	Lipicze Górne	Goszczanów	sieradzki
52	Lubochnia-Górki	Lubochnia	tomaszowski
53	Młodawin Górny	Zapolice	zduńskowolski
54	Mroga Górna	Rogów	brzeziński
55	Nagórki	Grabów	łęczycki
56	Niwiska Górne	Pajęczno	pajęczański
57	Nowa Góra	Żarnów	opoczyński
58	Nowostawy Górne	Stryków	zgierski
59	Orątki Górne	Żychlin	kutnowski
60	Orla Góra	Biała Rawska	rawski
61	Pawłów Górny	Wola Krzysztoporska	piotrkowski
62	Pierzchnia Góra	Warta	sieradzki
63	Podgórcze	Poddębice	poddębicki
64	Podgórze	Widawa	łaski
65	Podgórze	Świnice Warckie	łęczycki
66	Podgórzycze	Góra Świętej Małgorzaty	łęczycki
67	Porady Górne	Biała Rawska	rawski
68	Przatów Górny	Szadek	zduńskowolski
69	Pustkowa Góra	Parzęczew	zgierski

70	Śladków Górny	Zgierz	zgierski
71	Sokola Góra	Wielgomłyn	radomszczański
72	Sokola Góra	Parzęczew	zgierski
73	Starowa Góra	Rzgów	łódzki wschodni
74	Stradzew-Górki	Bedlno	kutnowski
75	Sucha Górna	Wartkowice	poddębicki
76	Szewce Nagórne	Bedlno	kutnowski
77	Tądów Górny	Warta	sieradzki
78	Tkaczewska Góra	Parzęczew	zgierski
79	Uchań Górny	Łyszkowice	łowicki
80	Wilczkowice Górne	Łęczycza	łęczycki
81	Winna Góra	Słupia	skierniewicki
82	Wiskienica Górna	Zduny	łowicki
83	Wiśniowa Góra	Andrespol	łódzki wschodni
84	Zagóra	Brąszewice	sieradzki
85	Zagórcze	Brąszewice	sieradzki
86	Zagórki	Pęczniew	poddębicki
87	Zagóry	Czerniewice	tomaszowski
88	Zagórze	Gidle	radomszczański
89	Zagórze	Wielgomłyn	radomszczański
90	Zagórze	Rawa Mazowiecka	rawski
91	Zagórze	Słupia	skierniewicki
92	Zagórze	Sokolniki	wieruszowski
93	Zagórzycze	Poddębice	poddębicki
94	Zdzieszulice Górne	Bełchatów	bełchatowski
95	Zgórze	Dąbrowice	kutnowski
96	Zgórze	Strzelce	kutnowski
97	Zielona Góra	Andrespol	łódzki wschodni
98	Złota Góra	Skomlin	wieluński

Źródło: oprac. własne na podstawie danych z PRNG oraz GUS.

Source: own study based on data from the State Register of Geographical Names and the Central Statistical Office.

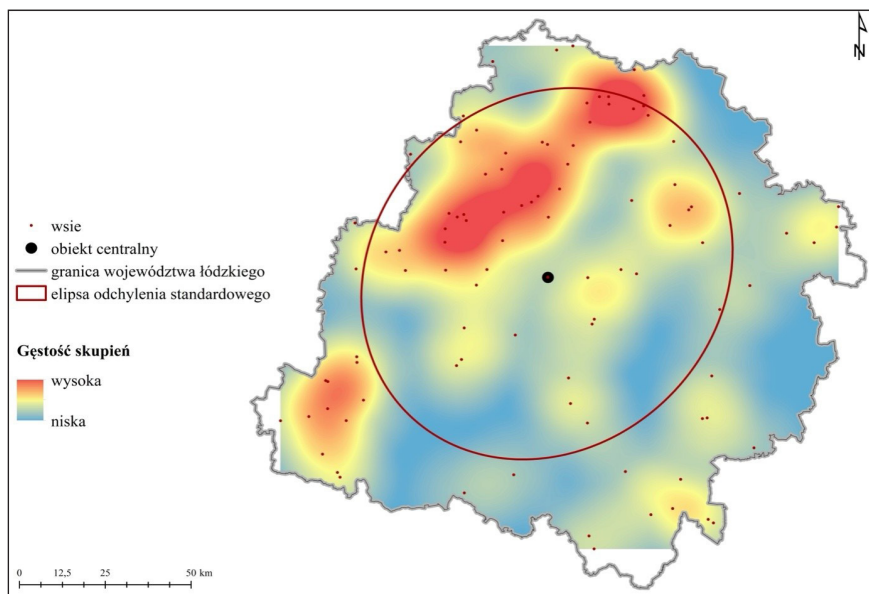
Poprzez użycie narzędzia Edycja oraz Edytor wskazano dokładną lokalizację miejscowości i zaznaczono je na mapie, używając reprezentacji punktowej.

Rozmieszczenie tych miejscowości na terenie województwa łódzkiego jest nierównomierne. W celu przeprowadzenia analizy rozmieszczenia użyto podstawowych miar centrograficznych, tj. elipsy odchylenia standardowego, gęstości skupień oraz wyznaczono obiekt centralny (Nalej 2014) (rys. 2).

Kompozycja mapy wskazuje na największe skupienie badanych punktów w północnej oraz północno-zachodniej części województwa (rys. 2). Takie rozmieszczenie może wynikać ze zwiększonych deniwelacji w strefie marginalnej zlodowacenia Wisły (Marks i in. 2022) lub z obecności form pochodzenia eolicznego (Manikowska 1985).

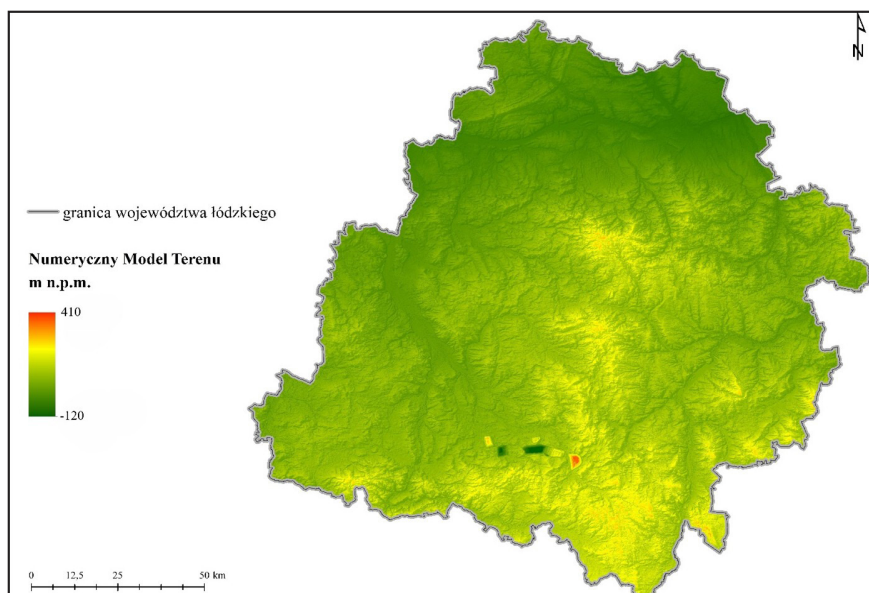
Dodatkowo, mniejsze, ale znaczące skupisko miejscowości zidentyfikowano w południowo-zachodniej części województwa. Obiektem centralnym w analizowanym układzie przestrzennym jest wieś Górka Pabianicka, położona w gminie Pabianice, w powiecie pabianickim.

Kolejnym etapem było przygotowanie modelu rzeźby terenu. Numeryczny Model Terenu (NMT) o rozdzielczości 5 m został pobrany z Geoportalu, a następnie zmozaikowany oraz docięty do granic województwa łódzkiego (rys. 3). Po wstępnej analizie postanowiono wykluczyć z dalszych badań rejon Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” (rys. 4), z uwagi na istnienie bardzo dużych deniwelacji powstałych w wyniku antropogenicznej działalności człowieka (Jaskulski, Nowak 2019).



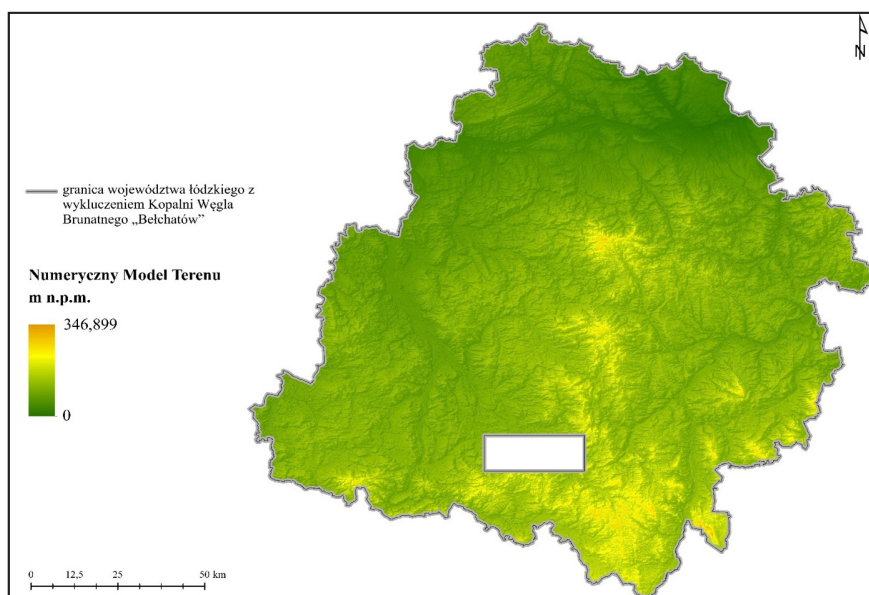
Rys. 2. Mapa przedstawiająca gęstość skupień, obiekt centralny oraz elipsę odchylenia standardowego miejscowości w których w nazwie występuje podstawa słowotwórcza „gór” na terenie województwa łódzkiego

Fig. 2. A map showing the density of clusters, the central object and the ellipse of the standard deviation of localities whose name contains the word-formation basis “gór” in the Łódź Voivodeship



Rys. 3. Ukształtowanie terenu województwa łódzkiego

Fig. 3. The topographic relief of the Łódź Voivodeship



Rys. 4. Ukształtowanie terenu województwa łódzkiego z wyłączeniem obszaru o znacznym przekształceniu antropogenicznym (Kopalnia Węgla Brunatnego „Bełchatów”)

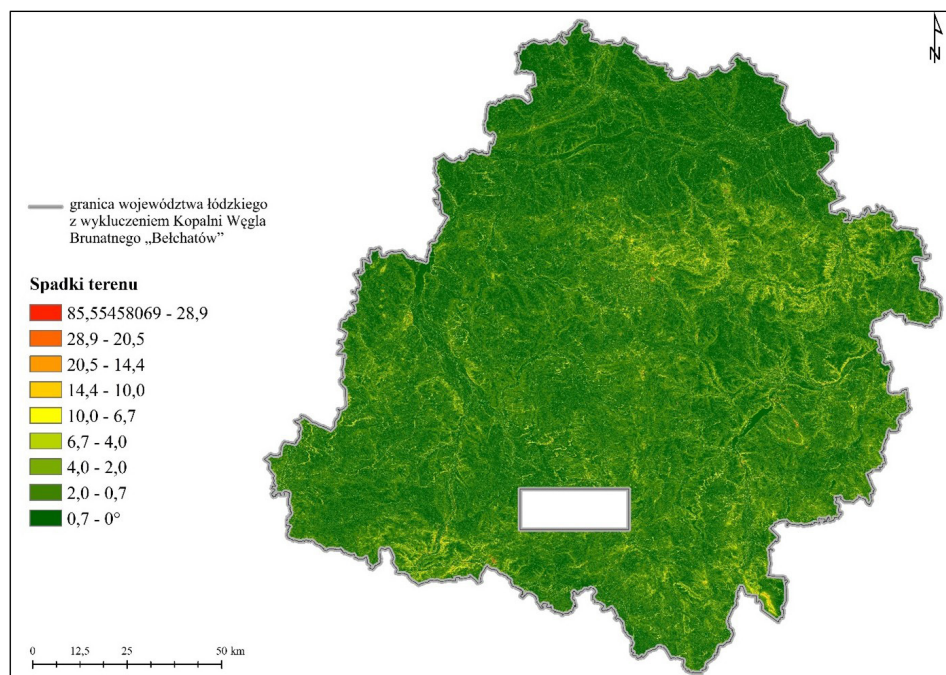
Fig. 4. The topographic relief of the Łódź Voivodeship, excluding the area of significant anthropogenic transformation (“Bełchatów” Brown Coal Mine)

3. Analiza spadków w sąsiedztwie miejscowości

Dane zostały zaimportowane do oprogramowania ArcMap 10.8.2, gdzie przeprowadzono szczegółowe analizy przestrzenne. Kolejnym etapem przygotowań do analiz było opracowanie modelu spadków terenu na podstawie opracowanego Numerycznego Modelu Terenu (NMT) z wykluczeniem obszaru Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” (rys. 5). Model spadków został wyrażony w stopniach, co umożliwiło precyzyjne odwzorowanie nachylenia po-

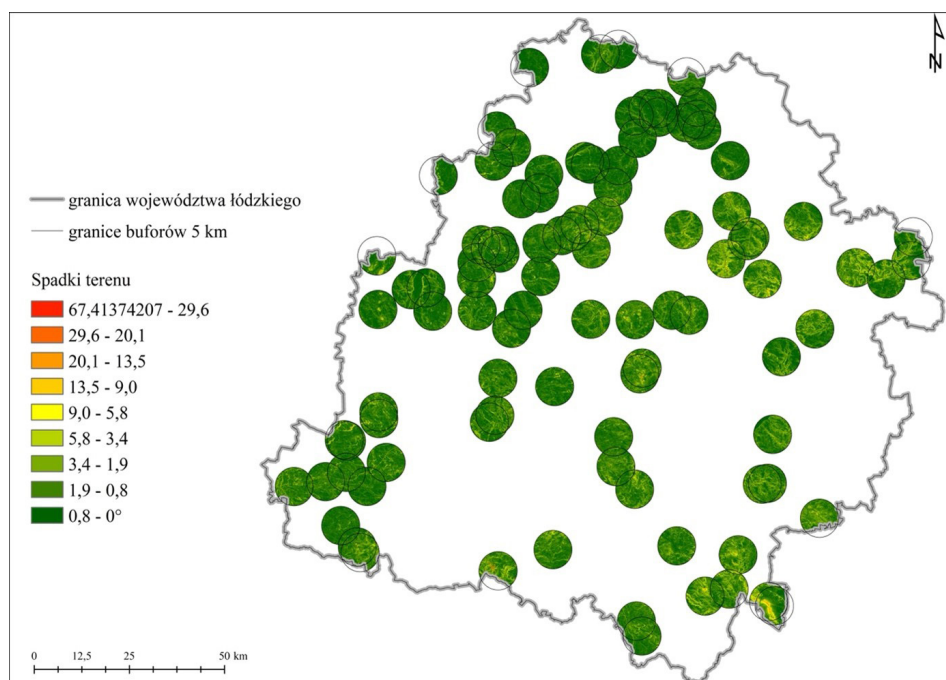
wierzchni terenu. Dla wszystkich badanych miejscowości zostały wyznaczone bufor o promieniu 5 km oraz 2 km. Następnym krokiem było wycięcie z modelu spadków obszarów zawierających się w powstałych buforach. Ten proces przedstawia rys. 6 oraz rys. 7.

W dalszym stopniu prac obliczono statystykę strefową w celu wygenerowania danych zawierających informacje o średnich spadkach, maksymalnych spadkach oraz odchyleniu standardowym dla każdej miejscowości w buforach 5 km oraz 2 km.



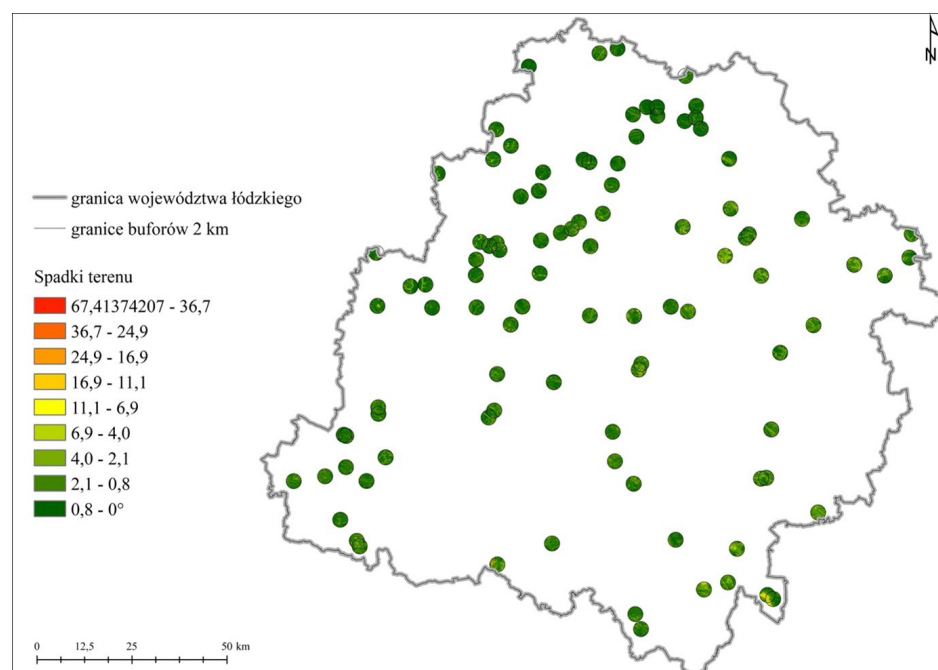
Rys. 5. Mapa spadków województwa łódzkiego

Fig. 5. Map of slopes in the Łódź Voivodeship



Rys. 6. Spadki terenu w buforze 5 km na podstawie Numerycznego Modelu Terenu 5 m

Fig. 6. Terrain slopes in the 5 km buffer based on the 5 m Digital Terrain Model



Rys. 7. Spadki terenu w buforze 2 km na podstawie Numerycznego Modelu Terenu 5 m

Fig. 7. Terrain slopes in the 2 km buffer based on the 5 m Digital Terrain Model

4. Analiza porównawcza pomiędzy średnimi spadkami w buforach a wartościami średnimi dla całego województwa

Analiza badanego obszaru pozwoliła na wyodrębnienie wsi, w których średni spadek w buforach 5 km oraz 2 km jest wyższy niż średni spadek dla całego województwa łódzkiego, z wykluczeniem obszaru antropogenicznie przekształconego Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”. Wyniki pozwoliły na wskazanie 37 wsi w badanym 5 km buforze oraz 41 wsi w buforze 2 km, które spełniały założenie większego urozmaïcenia terenu od średniej dla województwa, wynoszącej 1,2862°.

Najwyższy średni spadek terenu w buforach 5 km – 2,286124°, występuje w miejscowości Góry Suche. Miejscowość znajduje się w powiecie radomskim, w gminie Przedbórz. Na terenie wsi znajduje się wzgórze Fajna Ryba należące do Pasma Przedborsko-Małogoskiego, będące najwyższym naturalnym punktem województwa łódzkiego. Następną miejscowością jest Mroga Górna. Jest to wieś znajdująca się w powiecie brzezińskim, w gminie Rogów. Średni spadek wynosi 2,250544° (tab. 2). Analiza średnich spadków terenu w buforze 2 km wykazała, iż największy średni spadek występuje we wsi Niwiska Górne i wynosi 3,071659°. Drugą wsią jest Mroga Górna (średni spadek: 2,899502°) (tab. 3).

Tabela 2. Wykaz miejscowości w buforach 5 km, w których średni spadek terenu poszczególnych wsi jest większy niż średni spadek dla całego województwa łódzkiego z wykluczeniem Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”

Table 2. List of localities in 5 km buffers where the average slope of the terrain of individual villages is greater than the average slope for the entire Łódź Voivodeship, excluding the “Bełchatów” Brown Coal Mine

Lp.	Nazwa miejscowości	Maksymalny spadek [°]	Średni spadek [°]	Odchylenie standardowe
1	Góry Suche	46,987740	2,286124	2,984085
2	Mroga Górna	44,180130	2,250544	2,294623
3	Niwiska Górne	67,413742	2,167076	3,726135
4	Góry Mokre	46,987740	2,127018	3,036873
5	Zagórze	41,517258	2,105868	2,096658
6	Góra	42,615803	1,970723	1,886534
7	Zagórze	59,167561	1,785846	1,723875
8	Bąkowa Góra	39,685104	1,775650	1,789399
9	Sokola Góra	39,685104	1,707063	1,611231
10	Nowa Góra	56,082672	1,679518	1,816331
11	Górki Małe	49,054993	1,668820	2,117976
12	Nowostawy Górne	46,176846	1,666901	2,084038

Lp.	Nazwa miejscowości	Maksymalny spadek [°]	Średni spadek [°]	Odchylenie standardowe
13	Uchań Górny	40,358040	1,641815	2,005861
14	Dębowa Góra	43,625294	1,636117	2,071123
15	Górki Duże	49,054993	1,606554	2,037054
16	Zagórze	43,601265	1,595501	1,655413
17	Porady Górne	38,233227	1,572409	1,899169
18	Winna Góra	44,180130	1,559486	1,682693
19	Dębowa Góra-Kolonia	40,448788	1,555960	1,780945
20	Zagóry	39,186623	1,553227	1,662282
21	Pustkowa Góra	42,806534	1,529747	1,832090
22	Jastrzębie Górne	36,616497	1,527821	1,716153
23	Kania Góra	43,478012	1,502615	1,761344
24	Jasna Góra	44,475964	1,462161	1,363613

Lp.	Nazwa miejscowości	Maksymalny spadek [°]	Średni spadek [°]	Odchylenie standardowe
25	Pawłów Górny	40,841003	1,429986	1,502754
26	Orla Góra	41,122253	1,422261	1,480395
27	Dębowa Góra	36,538254	1,421882	1,468932
28	Zdzieszulice Górne	51,384148	1,414066	1,646614
29	Górka Wieruszowska	37,234154	1,413949	1,828974
30	Starowa Góra	37,402836	1,408141	1,763753

Lp.	Nazwa miejscowości	Maksymalny spadek [°]	Średni spadek [°]	Odchylenie standardowe
31	Górka Pabianicka	36,946667	1,387654	1,739197
32	Tkaczewska Góra	36,848923	1,384760	1,653223
33	Górki Grabińskie	34,782391	1,348858	1,654673
34	Złota Góra	44,475964	1,318450	1,318450
35	Górki	38,997871	1,313706	1,138484
36	Zagóra	40,583763	1,298643	1,603227
37	Zagórcze	40,583763	1,292386	1,485969

Tabela 3. Wykaz miejscowości w buforach 2 km, w których średni spadek terenu poszczególnych wsi jest większy niż średni spadek dla całego województwa łódzkiego z wykluczeniem Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”

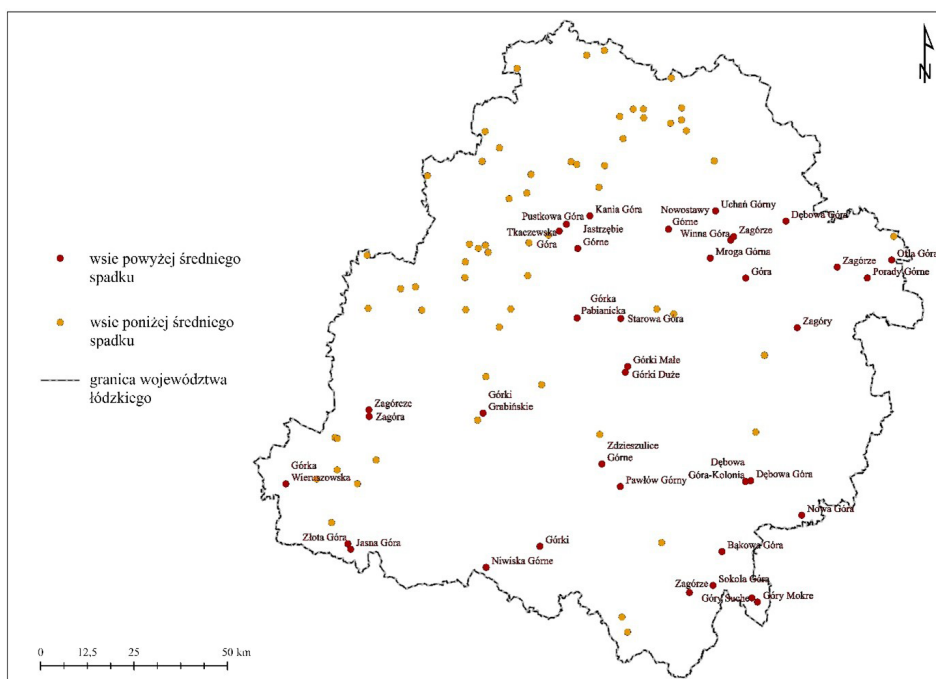
Table 3. List of localities in 2 km buffers where the average slope of the terrain of individual villages is greater than the average slope for the entire Łódź Voivodeship, excluding the “Bełchatów” Brown Coal Mine

Lp.	Nazwa miejscowości	Maksymalny spadek [°]	Średni spadek [°]	Odchylenie standardowe
1	Niwiska Górne	67,413742	3,071659	5,743231
2	Mroga Górna	38,330235	2,899502	2,623826
3	Góry Mokre	46,987740	2,694000	4,022133
4	Zagórze	59,167561	2,352233	2,752010
5	Górki Duże	49,054993	2,255156	3,485154
6	Bąkowa Góra	31,581905	2,198963	1,843061
7	Nowa Góra	56,082672	2,195814	2,049529
8	Zagórze	34,383575	2,103805	1,842617
9	Nowostawy Górne	38,709328	1,980212	2,556170
10	Góra	42,615803	1,953226	1,846095
11	Uchań Górny	40,348057	1,931105	2,323600
12	Dębowa Góra-Kolonia	33,549629	1,794234	1,977639
13	Zagóry	35,610439	1,762523	1,787300
14	Sokola Góra	25,426058	1,745705	1,273791
15	Porady Górne	37,192360	1,744043	2,352677
16	Górki Małe	42,964775	1,724396	1,781744
17	Złota Góra	41,460037	1,721788	1,984239
18	Dębowa Góra	33,549629	1,702203	1,796265
19	Zielona Góra	23,384195	1,697107	1,319505
20	Zdzieszulice Górne	51,384148	1,621695	2,126282
21	Jasna Góra	41,460037	1,614192	1,387069

Lp.	Nazwa miejscowości	Maksymalny spadek [°]	Średni spadek [°]	Odchylenie standardowe
22	Starowa Góra	36,186069	1,567124	1,906883
23	Tkaczewska Góra	30,189476	1,528175	1,410813
24	Góry Trzebiatowskie	28,650763	1,495310	1,222214
25	Zgórze	40,578987	1,453774	1,937221
26	Pustkowa Góra	30,960932	1,442905	1,705826
27	Górne	35,513451	1,428967	2,132796
28	Lubochnia-Górki	31,968197	1,426304	1,684842
29	Winna Góra	34,112362	1,413401	1,772967
30	Zagórze	32,753342	1,407622	1,751520
31	Pawłów Górny	34,170284	1,379976	1,594184
32	Dąbkowice Górne	38,341553	1,369504	2,282594
33	Przátów Górny	43,605640	1,359606	2,354379
34	Górka Pabianicka	32,988140	1,358342	1,379747
35	Podgórcze	30,104197	1,357911	1,821561
36	Kania Góra	34,639446	1,357240	1,810114
37	Górka Wieruszowska	36,273293	1,332287	1,608694
38	Góra Bałdzychowska-Kolonia	33,909653	1,324335	1,705494
39	Młodawin Górny	33,567513	1,322151	1,744788
40	Górki Grabińskie	22,140253	1,317169	1,428516
41	Zagórze	32,686356	1,313861	1,706919

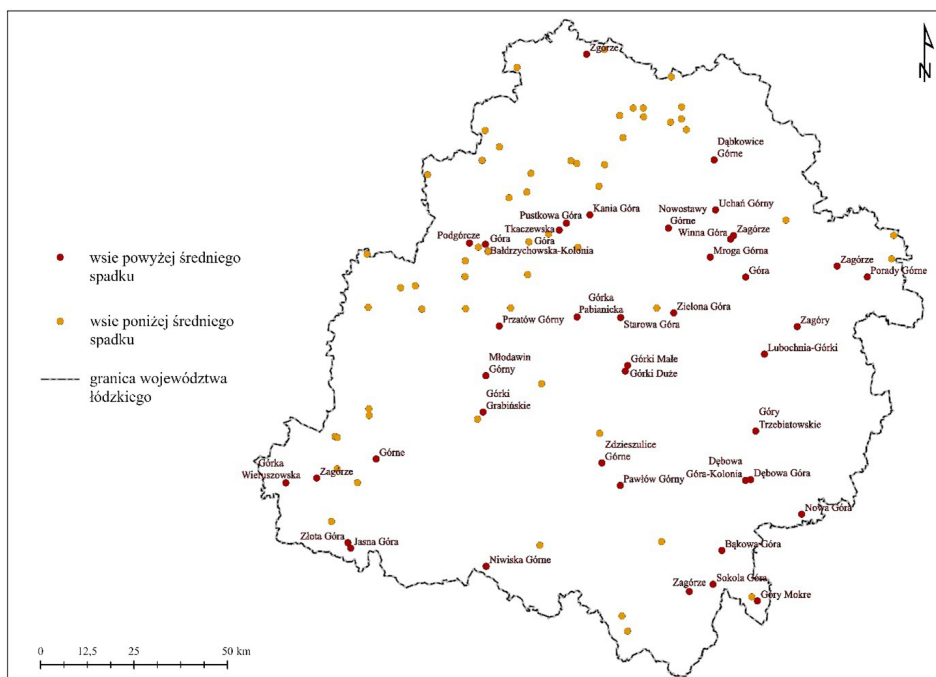
Przeprowadzona analiza umożliwiła uzyskanie dwóch kompozycji map w programie ArcMap, która jest przejrzystą wizualizacją wyników. Pierwsza z nich przedstawia miejscowości w buforze 5 km (rys. 8), w których średnie spadki są większe niż średnie spadki dla całego województwa łódzkiego, z wykluczeniem Kopalni Węgla Bru-

natnego „Bełchatów”. Druga rycina przedstawia tę samą zależność, ale zbadaną w buforze 2 km (rys. 9). Kolorem pomarańczowym oznaczono wsie, w których zależność nie istnieje, kolorem czerwonym wraz z dodanymi etykietami uzyskano wynik, w których zależność jest wi-



Rys. 8. Miejscowości, w których wartość spadków w buforze 5 km jest powyżej bądź poniżej wartości średnich dla całego województwa łódzkiego

Fig. 8. Localities where the slope value in the 5 km buffer is above or below the average values for the entire Lodz province



Rys. 9. Miejscowości, w których wartość spadków w buforze 2 km jest powyżej bądź poniżej wartości średnich dla całego województwa łódzkiego

Fig. 9. Localities where the slope value in the 2 km buffer is above or below the average values for the entire Lodz province

5. Analiza porównawcza pomiędzy dwoma buforami 2 km oraz 5 km

Po uzyskaniu dotychczasowych wyników, zdecydowano się wykonać jeszcze jedną analizę w celu poszukania innych zależności. Obejmowała ona badanie średnich spadków pomiędzy poszczególnymi miejscowościami w buforze 5 km i 2 km. Tak postawione założenie pozwoliło odpowiedzieć, czy najbliższe sąsiedztwo miejscowości (bufor 2 km) jest bardziej urozmaicony niż obszary bardziej

oddalone (bufor 5 km). Porównano wartości w tych dwóch buforach odnoszące się do każdej miejscowości oddzielnie. Zrobiono tak kolejno z 98 miejscowościami. Wyodrębniono 55 miejscowości, w których w buforze 2 km średnie spadki są wyższe niż średnie spadki w buforze 5 km w tej samej wsi. Analiza może wskazywać, że właśnie w tych miejscowościach rzeźba terenu w bliższej odległości 2 km jest bardziej urozmaiconą niż w odległości dalszej 5 km. Ten proces analizy przedstawia tab. 4.

Tabela 4. Wykaz miejscowości, w których wyższe średnie spadki terenu występują w buforach 2 km

Table 4. List of locations where higher average terrain slopes occur in 2 km buffers

Lp.	Nazwy miejscowości, w których średni spadek w buforze 2 km jest większy	Różnica pomiędzy średnimi spadkami w dwóch buforach [°]
1	Góra	1,005896
2	Góry Suche	0,995499
3	Niwiska Górne	0,904583
4	Zgórze	0,896748
5	Mroga Górna	0,648958
6	Górki Duże	0,648602
7	Góry Mokre	0,566982
8	Nowa Góra	0,516296
9	Sokola Góra	0,493339
10	Dębowa Góra	0,477042
11	Zielona Góra	0,464561
12	Bąkowa Góra	0,423313
13	Dąbkowice Górne	0,420001
14	Złota Góra	0,403338
15	Zagórze	0,317959
16	Przátów Górny	0,315531
17	Nowostawy Górne	0,313311
18	Uchań Górny	0,289290
19	Dębowa Góra	0,280321
20	Góry	0,258989
21	Podgórze	0,255469
22	Lubochnia-Górki	0,254830
23	Zagórze	0,246365
24	Dębowa Góra-Kolonia	0,238274
25	Góry Trzebiatowskie	0,211022
26	Zagóry	0,209296
27	Zdzieszulice Górne	0,207629
28	Górne	0,206839
29	Góra Bałdrzychowska-Kolonia	1,005896
30	Zagórze	0,995499
31	Tądów Górny	0,904583
32	Porady Górne	0,896748
33	Zagórze	0,648958
34	Góra Bałdrzychowska	0,648602
35	Starowa Góra	0,566982
36	Jasna Góra	0,516296
37	Tkaczewska Góra	0,493339
38	Góry Młyńskie	0,477042
39	Podgórcze	0,464561
40	Biała Góra	0,423313
41	Nagórki	0,420001
42	Bratków Górny	0,403338
43	Łęki Górne	0,317959
44	Młodawin Górny	0,315531

Lp.	Nazwy miejscowości, w których średni spadek w buforze 2 km jest większy	Różnica pomiędzy średnimi spadkami w dwóch buforach [°]
45	Bąków Górny	0,313311
46	Góra Świętej Małgorzaty	0,289290
47	Charbice Górne	0,280321
48	Górna Wola	0,258989
49	Białogórne	0,255469
50	Górki Małe	0,254830+
51	Górki Pęcławskie	0,246365
52	Stradzew-Górki	0,238274
53	Zagórki	0,211022
54	Orątki Górne	0,209296
55	Górki Łubnickie	0,207629

Największe różnice w średnich spadkach wykazała wieś Góra, gdzie różnica wyniosła 1,005896° pomiędzy wynikami w tych dwóch buforach. Wieś jest położona w powiecie sieradzkim, w gminie Warta. W Górze występuje opisane w literaturze wzgórze kemowe o stromych stokach i dużych deniwelacjach (Włodarki, Jaskulski 2009).

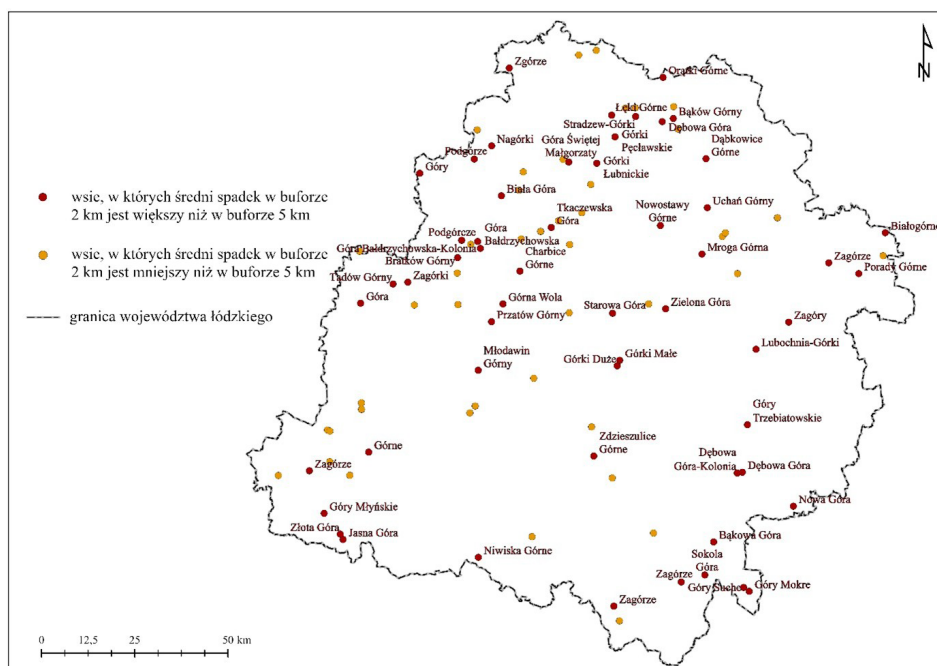
Przedstawiona poniżej rycina prezentuje miejscowości zaznaczone kolorem czerwonym i oznaczone etykietami, w których średni spadek w buforze 2 km jest większy niż w buforze 5 km, kolorem pomarańczowym oznaczono pozostałe wsie, w których zależność nie istnieje (rys. 10).

Kompozycja mapy ukazuje, że na południowym wschodzie w obu analizach zależność jest podobna, analogicznie jest w centralnej części województwa. Inna sytuacja występuje w północnej części, ponieważ w pierwszej analizie wyodrębniono tam małe zależności, jednak w drugiej zostały one ukazane w dość dużym stopniu.

6. Podsumowanie i dyskusja

Pierwsza analiza, porównująca średnie wartości spadków terenu w buforach o promieniach 2 km i 5 km do średnich wartości dla całego województwa łódzkiego, wykazała istotne różnice. W buforze 2 km zidentyfikowano 41 miejscowości (41,8%) natomiast w buforze 5 km – 37 miejscowości (37,7%). Dobrą decyzją na tym poziomie badań było wykluczenie oddziaływania Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów” z danych wojewódzkich, co pozwoliło lepiej uwidocznąć rzeczywiste, lokalne zależności geomorfometryczne, nieznieskształcone przez intensywną działalność antropogeniczną.

W drugiej analizie, porównującej wyniki dla bufora 2 km (obejmującego głównie miejscowości) i bufora 5 km (okolicznego otoczenia), zidentyfikowano 55 miejscowości (56,1% badanej próby), w których występowała korelacja między ukształtowaniem terenu a podstawą słowotwórczą „gór”. Analiza ta uwydatniła wyraźniejsze zależności w południowej części województwa łódzkiego, w rejonach, gdzie zaczyna się pas wyżyn. Obie analizy wskazały, że związek między rzeźbą terenu a nazwą miejscowości częściej dotyczy miejscowości położonych w południowo-wschodniej i centralnej części wojewódz-



Rys. 10. Miejscowości, w których średni spadek w buforze 2 km jest większy lub mniejszy niż w buforze 5 km

Fig. 10. Localities where the average slope in the 2 km buffer is greater or less than in the 5 km buffer

ttwa. W części północnej natomiast takie zależności stały się widoczne dopiero w drugiej analizie.

Porównanie między buforami o promieniach 2 km i 5 km okazało się bardziej skuteczne, ponieważ koncentrowało się na lokalnym poziomie. Badając obszary bliżej wsi, można było lepiej zidentyfikować zależności niż przy porównywaniu średnich wartości spadków dla całego województwa. Niestety, osiągnięte wyniki 37%–56% nie dają jednoznacznej odpowiedzi na zadane pytanie o istnieniu ścisłego związku pomiędzy nazwą miejscowości a urozmaicheniem rzeźby w jej okolicy.

W przyszłych badaniach wskazane byłoby rozszerzenie zakresu analiz poprzez zastosowanie różnych wielkości buforów wokół miejscowości, co mogłoby umożliwić dokładniejsze wykrywanie potencjalnych zależności. Alternatywnie warto rozważyć zastosowanie innych metod geomorfometrycznych, takich jak analiza geomorfonów (Jasiewicz, Stępiński 2013) czy wskaźnika TPI (*Topographic Position Index*; Weiss 2001), które mogłyby dostarczyć bardziej złożonej charakterystyki ukształtowania terenu i jego wpływu na nazewnictwo miejscowości.

7. Literatura

- Dylikowa A. 1967. Wydmny środkowopolskie i ich znaczenie dla stratygrafii schyłkowego plejstocenu. [w:] R. Galon, J. Dylik (red.). *Czwartorzęd Polski*. PWN, Warszawa: 353–371.
- Jasiewicz J., Stępiński T. 2013. Geomorphons – a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology* 182: 147–156.
- Jaskulski M., Nowak T. 2019. Transformations of Landscape Topography of the Bełchatów Coal Mine (Central Poland) and the Surrounding Area Based on DEM Analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8(9): 403. <https://doi.org/10.3390/ijgi8090403>
- Klimaszewski M. 1995. *Geomorfologia*. PWN, Warszawa.
- Kowalczyk-Heyman E. 2022. Toponomastyka w Warsztacie Badawczym Geografii Historycznej. *Studia Geohistorica* 9: 148–174. <https://doi.org/10.12775/SG.2021.09>
- Kozak J. 1997. *Wprowadzenie do systemów informacji geograficznej*. Wydawnictwo TEXT, Kraków.
- Krajewski K. 1977. Późnoplejstoceny i holoceny procesy wydmo-twórcze w Pradolinie Warszawsko-Berlińskiej w widłach Warty i Neru. *Acta Geographica Lodziensia* 39.
- Manikowska B. 1985. O glebach kopalnych, stratygrafii i litologii wydm Polski środkowej. *Acta Geographica Lodziensia* 52.
- Marks L., Grabowski J., Stępień U. (red). 2022. *Mapa geologiczna Polski 1:500 000. Mapa powierzchni terenu*. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Nalej M. 2014. Rozmieszczenie obiektów noclegowych w Łodzi w 2013 roku w świetle miar centrozgraficznych. *Acta Universitatis Lodzien-sis. Folia Geographica Socio-Oeconomica* 16: 133–148. <https://doi.org/10.18778/1508-1117.16.08>
- Olenderek T. 2011. Toponimy na wykorzystywanych w turystyce mapach obszarów leśnych. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodni-czo-Leśnej*: 283–287.
- Pike R.J., Evans I.S., Hengl T. 2009. Geomorphometry: A brief guide. *Developments in Soil Science* 33: 3–30.
- Rdzany Z. 2009. Rekonstrukcja przebiegu zlodowacenia warty w regionie łódzkim [Reconstruction of the course of the Warta Glaciation in the Łódź Region]. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- 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., Krąż P., Lechnio J., Macias A., Maj-chrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papiń-ska E., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziaja W. 2018. Physico-geo-graphical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geographia Polonica* 91(2): 143–170. <https://doi.org/10.7163/GPol.0115>
- Taszycki W. 1958. *Rozprawy i studia polonistyczne. t. 1: Onomastyka*. Wrocław–Kraków.
- Turkowska K. 2006. *Geomorfologia regionu łódzkiego*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Urbański J. 2008. *GIS w badaniach przyrodniczych*. Wydawnictwo Uni-wersytetu Gdańskiego.
- Weiss A. 2001. Topographic position and landforms analysis. Poster Pre-sentation. ESRI Users Conference, San Diego, CA, 9–13 July 2001.
- Włodarski W., Jaskulski M. 2009. Złożone układy struktur nieciągłych w kemach z wyciśniętym jądrem na wybranych przykładach. Impli-kacje paleośrodowiskowe. *Prace Państwowego Instytutu Geologicz-nego* 194: 101–118.

Tomasz Kalicki¹ • Cyryl Konstantinovski Puntos² • Jani Konstantinovski Puntos³ ⁽¹⁾ Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Geografii i Nauk o Środowisku, Zakład Geomorfologii i Geoarcheologii⁽²⁾ Szkoła Doktorska Nauk Społecznych Uniwersytetu Jagiellońskiego, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej⁽³⁾ Badacz niezależny

E-mail: tomaszkalicki@ymail.com

Analiza morfometryczna stożka napływowego Kouris (południowy Cypr) – studium porównawcze metody wizualnej i GIS

Morphometric analysis of the Kouris alluvial fan (S Cyprus) – a comparative study of visual and GIS method

Zarys treści

Celem opracowania było przetestowanie i porównanie dwóch metod: wizualnej (manualnej) i komputerowej GIS (zautomatyzowanej) przy wydzielaniu spłaszczeń w obrębie monotonnej równiny stożka napływowego Kouris w południowej części Cypru. Obie metody bazują na analizie Numerycznego Modelu Terenu (NMT). Przy dostępnej rozdzielczości (90 i 25 m), powierzchnie wyznaczone manualnie są bardziej precyzyjne niż te wytyczone automatycznie. Średnia zgodność dla większości wydzieleni (¾), wykonanych obiema metodami zamyka się w przedziale 35–47%. Obie metody wykazały wewnętrzne zróżnicowanie morfologii stożka napływowego Kouris. Kształt stożka powoduje, że najszerszymi strefami i jednocześnie z najwyższą liczbą spłaszczeń są te położone najbliżej morza. Jednak na zachód od rzeki znajduje się więcej powierzchni płaskich i są one większe niż we wschodniej części. Może to być wynikiem ewolucji tej formy i zmienności akumulacji na różnych pobocznicach stożka, a także zazębianiem się tej głównej formy Kouris z mniejszymi stożkami cieków rozcinających węglanowy płaskowyż.

Słowa kluczowe Cypr, Kouris, rzeźba, stożek napływowy, GIS.

Abstract

The aim of the study was to test and compare two methods: visual (manual) and computer GIS (automated) for the separation of flat areas within the monotonous plain of the Kouris alluvial fan in the southern part of Cyprus. Both methods are based on the analysis of the Digital Elevation Model (DEM). At the available resolution (90 and 25 m), the areas determined manually are more precise than those determined automatically. The average compliance of the results for most of the divisions (¾) made with both methods is in the range of 35–47%. Both methods showed internal differentiation of the morphology of the Kouris alluvial fan. The shape of the alluvial fan means that the widest zones with the greatest number of flat areas are those closest to the sea. However, there are more flat areas on the west of the river and they are larger than in the eastern part. This may be the result of the evolution of this form and the variability of accumulation on different sides of the fan, as well as the overlap of this main Kouris form with smaller stream fans dissecting the carbonate plateau.

Keywords Cyprus, Kouris, relief, alluvial fan, GIS.

1. Wprowadzenie

Analiza wizualna map hipsometrycznych w celu wydzielenia spłaszczeń o różnej genezie i stoków była stosowana przez geomorfologów przez ostatnie 100 lat, od momentu wprowadzenia w kartografię metody przedstawiania rzeźby terenu za pomocą izolinii. W ostatnim czasie wprowadzenie systemów GIS dało możliwość zautomatyzowania tego typu morfometrycznej analizy ukształtowania powierzchni. Skuteczność obu metod jest w znacznym stopniu uzależniona od stopnia urozmaïcenia i charakteru morfologii, deniwelacji, występowania załomów *etc.*, a największe trudności występują w obszarach równin-

nych i słabo zróżnicowanych. Dlatego w celu przetestowania i porównania obu metod wybrano do analizy bardzo słabo nachylony i monotonny stożek napływowy Kouris na południowym Cyprze.

2. Położenie i morfologia

Cypr położony jest we wschodniej części Morza Śródziemnego, w strefie obdukcji na styku dwóch płyt litosferycznych (anatolijskiej i afrykańskiej) (Harrison i in. 2008) (rys. 1, 2). Powoduje to dużą aktywność tektoniczną obszaru, liczne trzęsienia ziemi (Evelpidou 2023) oraz ruchy wypiętrzające, zaznaczające się w morfologii wybrzeży

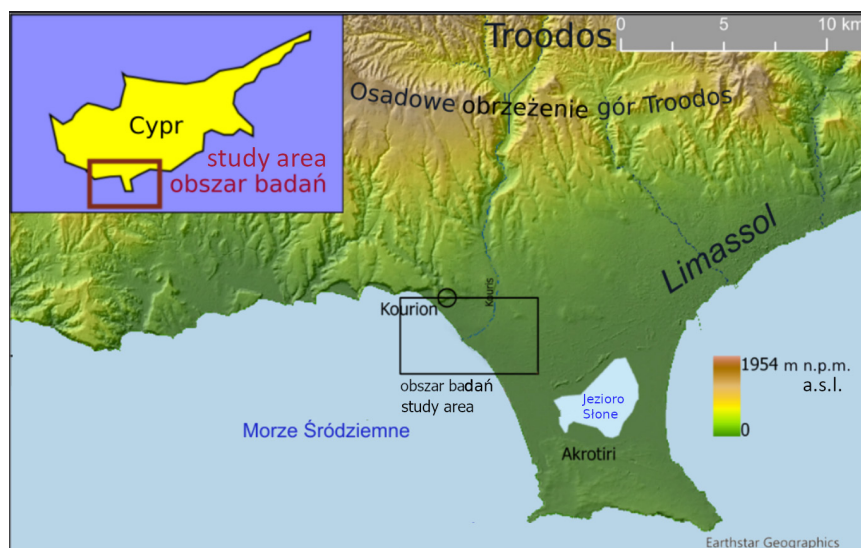


Original article; Received: 26.02.2025; Revised: 18.04.2025; Accepted: 23.04.2025

© by the author, licensee University of Lodz – Lodz University Press, Lodz, Poland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license CC BY-NC-ND 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)**Funding information:** Not applicable. **Conflicts of interests:** None. **Ethical considerations:** The Author assures of no violations of publication ethics and takes full responsibility for the content of the publication.

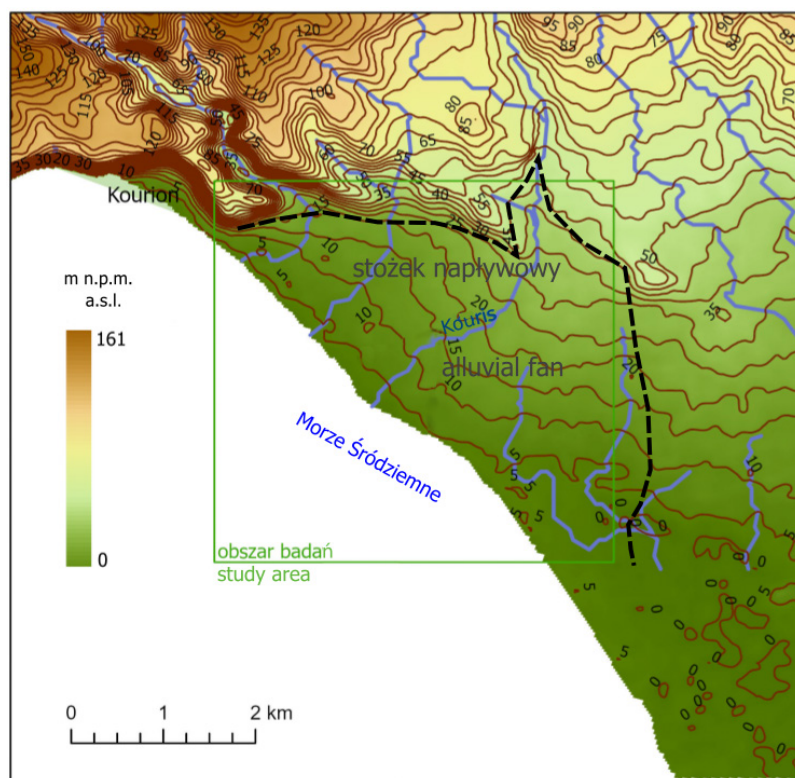
wyniesionymi terasami morskimi. Jednak obszar w rejonie Limassol (Lemesos), w południowej części Cypru, w przeciwieństwie do innych odcinków wybrzeża wyspy, jest bardzo słabo wypiętrzany – 0,02 mm/rok, co wynika z analizy wysokości plejstocénskich teras morskich z okre-

su od MIS 7 (Zomeni 2012). Szczegółowa analiza wahaní poziomu morza w ostatnich 2500 latach, oparta o wyniki badań na półwyspie Akrotiri, wskazuje na to, że zawierają się one w przedziale od $-1,15 \pm 0,13$ m (2150 BP) do $+0,5$ m (770 BP) (Polidorou i in. 2021) (rys. 3).



Rys. 1. Mapa hipsometryczna wykonana tzw. metodą klasyczną i oparta na Numerycznym Modelu Terenu NMT (oprac. na podstawie misji SRTM) południowego Cypru. Granica osadowego obrzeżenia gór Troodos (*Circum Troodos Sedimentary Succession*) według Cohena i in. (2012)

Fig. 1. Hipsometric map made classical method and based on the Digital Elevation Model (DEM developed on the basis of the SRTM mission) of southern Cyprus. The boundary of the sedimentary margin of the Troodos Mountains (*Circum Troodos Sedimentary Succession*) according to Cohen *et al.* (2012)

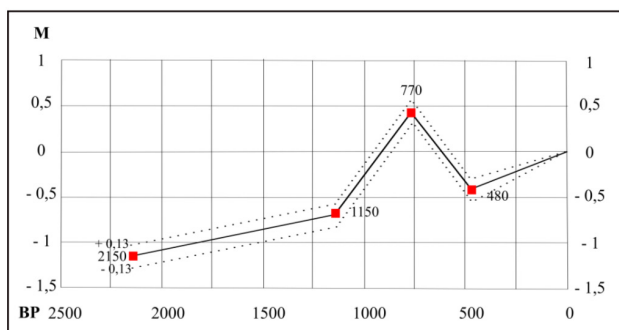


Rys. 2. Mapa hipsometryczna obszaru badań (oprac. na podstawie NMT misji ALOS 2). Granicę stożka napływowego Kouris zaznaczono linią przerywaną

Fig. 2. Hipsometric map of the study area (DEM developed on the basis of the ALOS 2 mission). The boundary of the Kouris alluvial fan is marked with a dashed line

Zlewnia Kouris obejmuje dwie najważniejsze jednostki geologiczne tej części Cypru. Źródła rzeki znajdują się w górach Troodos, należących do późnokredowego kompleksu ofiolitowego (*pre-Campanian Troodos Ophiolite*), które zbudowane są z różnorodnych zasadowych i ultrazasadowych skał magmowych (bazaltów, dajek diabazowych, gabr, piroksenitów, harzburgitów i in.) i metamorficznych. Dalej ciek przecina skały osadowe obrzeżenia

tych gór (*Circum Troodos Sedimentary Succession*), rozcinając wąski pas formacji paleoceńsko-oligocénskich (Lefkara, Kalogrea-Ardana, Lapithos), a później szeroką strefę miocénskich formacji Pakhna (margle, kreda) i Kalavastos (gipsy). Przed ujściem do Morza Śródziemnego, po wylocie z głęboko wciętej w płaskowyż węglanowy doliny, rzeka tworzy rozległy stózek napływowy/deltę (rys. 1, 2).



Rys. 3. Wahania poziomu morza na Płw. Akrotiri (Polidorou i in. 2021)

Fig. 3. Sea level fluctuations on the Akrotiri Peninsula (Polidorou *et al.* 2021)

Stożek napływowy/delta Kouris ma długość około 2 km i szerokość wzdłuż wybrzeża Morza Śródziemnego około 5 km (Kalicki i in. 2022a, b). W zachodniej części zazębiają się z nim niewielkie stożki u wylotu dolin rozcinających węglanowy płaskowyż. Wszystkie one tworzą rozległą równinę pomiędzy węglanowym obrzeżeniem Gór Troodos, z antycznym miastem Kourion na jego krawędzi a Limassol (Lemesos) i półwyspem Akrotiri (rys. 1, 2).

Stożek budują, prawdopodobnie plejstoceny (Dutton 2002), aluwia żwirowo-piaszczyste. Na mapie wyniesionych teras morskich objęty jest w całości wydzieleniem oznaczającym wiek MIS 11-7, czyli 424–243 tys. lat temu (Zomenia 2012). Jego plejstoceny mogą sugerować również wyniki badań nad aluwacją w pobliskiej, położonej na zachód dolinie Ezousas. Stwierdzono w niej dwie główne fazy aktywności fluwialnej datowane na 75–48 ka oraz 25–13 ka i wyraźny jej spadek w holocen (Kalicki i in. 2021).

W czasie prospekcji terenowej w październiku 2021 r. stwierdzono na stożku obecność skalistych ostańców erozyjnych otoczonych osadami fluwialnymi (rys. 4), a na jego powierzchni szereg okresowych koryt roztokowych (rys. 5).



Rys. 4. Skalisty ostaniec erozyjny w obrębie stożka napływowego/delty Kouris (fot. T. Kalicki)

Fig. 4. Rocky erosional remnant within the Kouris alluvial fan/delta (photo by T. Kalicki)



Rys. 5. Koryto okresowe na stożku napływowym/delcie Kouris (fot. T. Kalicki)

Fig. 5. Periodical river channel on the Kouris alluvial fan/delta (photo by T. Kalicki)

W zachodniej, przybrzeżnej części stożek zazębia się z osadami kilkumetrowej wyniesionej terasy morskiej, na której poniżej antycznego Kourion zbudowano w V w. n.e. kompleks bizantyjskiej bazyliki.

W brzeżnej części stożka napływowego/delty (rys. 6) stwierdzono zazębianie się procesów i osadów litoralnych (brzegowych) i fluwialnych, gdyż suche koryta roztokowe w okresie jesiennym 2021 r. były zablokowane przez żwirowe wały sztormowe (rys. 7). Było to prawdopodobnie związane z przechwytywaniem całego przepływu rzeki przez sztuczny zbiornik Kouris, największy na Cyprze, zbudowany w latach 1984–1988 (rys. 8). Po zbudowaniu tamy powódzie poniżej zapory wystąpiły tylko trzykrotnie: 4.03.2004, 6.04.2012 i 7.01.2020 r. Wcześniej przepływy Kouris były prawdopodobnie w stanie corocznie odblokowywać ujścia koryt do Morza Śródziemnego, a cykl erozyjno-akumulacyjny na stożku wyglądał zupełnie inaczej i nawiązywał do naturalnego reżimu pluwialnego rzeki.



Rys. 6. Widok z Kourion na stożek napływowy/deltę Kouris w części przybrzeżnej (fot. T. Kalicki)

Fig. 6. View from Kourion towards the Kouris alluvial fan/delta in the coastal part (photo by T. Kalicki)



Rys. 7. Koryto okresowe na stożku napływowym/delcie Kouris zablokowane przez żwirowy wał sztormowy (fot. T. Kalicki)

Fig. 7. Temporary river channel on the Kouris alluvial fan/delta blocked by a gravel storm ridge (photo by T. Kalicki)

Monotonna rzeźba stożka/delty i rozległość formy uniemożliwiła skartowanie spłaszczeń i „czół” akumulacyjnych w terenie, co pozwoliłoby na określenie faz jego nadbudowy. Dlatego podjęto próbę wydzielenia takich sekwencji w oparciu o dane kartograficzne.

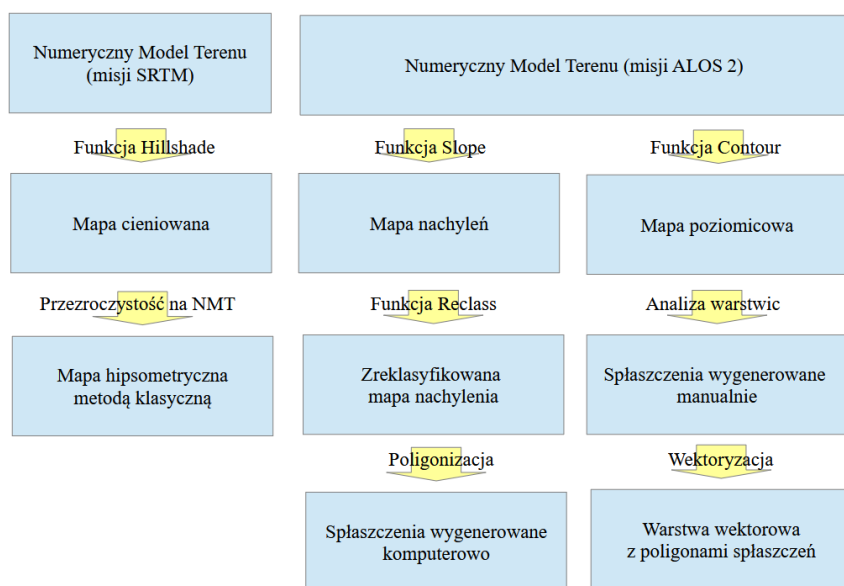


Rys. 8. Zbiornik zaporowy Kouris w obrębie węglanowego (osadowego) obrzeżenia (miocenijska formacja Pakhna) gór Troodos (fot. T. Kalicki)

Fig. 8. Kouris reservoir within the carbonate (sedimentary) margin (Miocene Pakhna Formation) of the Troodos Mountains (photo by T. Kalicki)

3. Metodyka

W analizach, przy opracowaniu map i wizualizacji rzeźby badanego terenu wykorzystano programy: GIS – ArcGIS Pro oraz QGIS (Christophe 2011) oraz kilka geoinformacyjnych danych źródłowych (rys. 9).



Rys. 9. Schemat algorytmu zastosowanych procedur geoinformacyjnych (oprac. C. Konstantinovski Puntos)

Fig. 9. Scheme of the algorithm of the geoinformatic procedures used in the article (by C. Konstantinovski Puntos)

Mapę hipsometryczną (wysokościową) (rys. 1) metodą klasyczną opracowano za pomocą Numerycznego Modelu Terenu (NMT) z misji SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Dane pozyskano ze strony CGIAR DEM (<https://bigdata.cgiar.org/srtm-90m-digital-elevation-database/>), jako zbiór informacji przetworzony na potrzeby nowej, ulepszonej wersji rastra pierwotnego. Rozdzielczość przestrzenna (wielkość pikseli) danych wynosi 90 m. Skorzystano z warstwy cieniowanej (funkcja *hillshade* z zastosowaną przezroczystością 50%, nałożonej na warstwę NMT) (por. Farmakis-Serebryakova, Hurni 2020).

Przyjęto domyślne wartości azymutu padania światła (315°) i kąt padania światła (45°) (por. Siwek, Wacławik 2015).

Do pozostałych analiz opracowano Numeryczny Model Terenu (NMT) (rys. 2) na podstawie danych z misji ALOS 2 (Advanced Land Observing Satellite-2) (Charalambos 2016; https://www.academia.edu/23922627/A_Digital_Elevation_Model_for_Cyprus_based_on_the_ALOS_2_W3D30_Digital_Surface_Model). Wielkość pikseli tego obrazu wynosi 25 m, co stanowi korzystniejszy zbiór danych niż raster SRTM.

Do programu ArcGIS Pro zaimplementowano mapę bazową (Basemap) na podstawie projektu OSM (Open Street Map). Stanowi ona tło w dalszych procedurach geoinformatycznych. W oparciu o mapę bazową wykonano wektoryzację lokalizacji miejscowości oraz starożytnego miasta Kourion.

Na podstawie NMT wygenerowano mapę warstwicową (funkcja *Contour* w ArcGIS Pro) z cięciem poziomowym 1 m (rys. 2), co pozwoliło na manualne wyznaczenie spłaszczeń na stożku i stokach. Na bazie modelu rastrowego (na bazie danych ALOS 2) utworzono mapę nachyleń (funkcja *Slope*) w 5 przedziałach (Wieczorek, Żyszkowska 2011). Obszary o nachyleniu od $0,0^\circ$ do $0,6^\circ$ uznano za względnie płaskie (por. Szypuła, Wieczorek 2010). Opracowaną ręcznie mapę nałożono na mapę nachyleń wykonaną w programie ArcGIS Pro. Zwektoryzowano oraz ponumerowano poszczególne poligony spłaszczeń oraz porównano powierzchnie wydzielone manualnie i komputerowo. Mapa posłużyła do dalszych etapów opracowania wizualizacji (por. Urbański 2012).

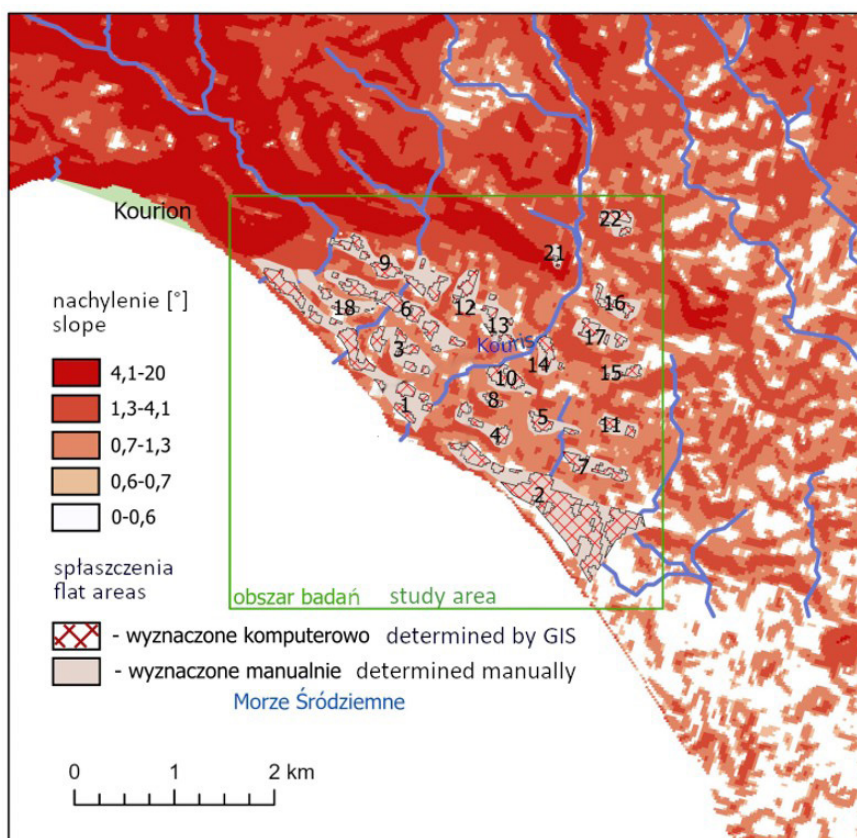
Następnie porównano dwie mapy spłaszczeń wygenerowane komputerowo i manualnie. Używając Statystyk Strefowych w QGIS obliczono zgodność poligonów wydzielonych obiema metodami. Uzyskano procentowe pokrycie obu wydzieleń (warstw). Powierzchnię spłaszczeń obliczono korzystając z Kalkulatora Pól (opcja „area”), a wyniki zestawiono w programie Excel. Obliczono powierzchnię zajmowaną przez spłaszczenia w obrębie poszczególnych przedziałów wysokościowych i w całym obszarze badań.

Przy konstruowaniu schematycznych przekrojów wykorzystano mapę geologiczną Departamentu Służby Geologicznej Cypru (www.geoportal-gsd.moa.gov.cy/) i program Inkscape.

4. Rezultaty

Manualnie wyznaczone spłaszczenia mają zaokrąglone kształty, co wiąże się z metodą ich tworzenia opartą na ręcznym obrysie na mapie warstwicowej. Mają liniową rozciągłość NW–SE, zgodną z kierunkiem przebiegu linii brzegowej (rys. 10). Ich długość waha się od 1500 do 400 m, a szerokość wynosi średnio 300 m. Najbardziej homogeniczne i zajmujące największą powierzchnię (ok. 900 000 m²) znajdują się najbliżej wybrzeża Morza Śródziemnego (poligony 1 i 2). Mają prawie 2000 m długości i szerokość ok. 300 m. Przesuwając się w głąb lądu zaznacza się wyraźna dwudzielność delty Kouris. W jej zachodniej części spłaszczenia (3, 6, 9, 12, 18) są wyraźnie większe (ok. 350 000 m²) niż we wschodniej, gdzie są bardziej rozczłonkowane i zajmują łącznie mniejszą powierzchnię (ok. 120 000 m²).

Wygenerowane z mapy nachyleń powierzchnie płaskie zlokalizowane są w podobnych miejscach jak wyznaczone manualnie, zajmują zbliżone powierzchnie tworząc podobny obraz przestrzenny. Największa różnica występuje we wschodniej części delty, gdzie na obrazie komputerowym zaznacza się spłaszczenie nie wyznaczone manualnie. Jest to obszar otoczony przez płaskie powierzchnie 5, 10, 14, 15 i 20 (rys. 10).



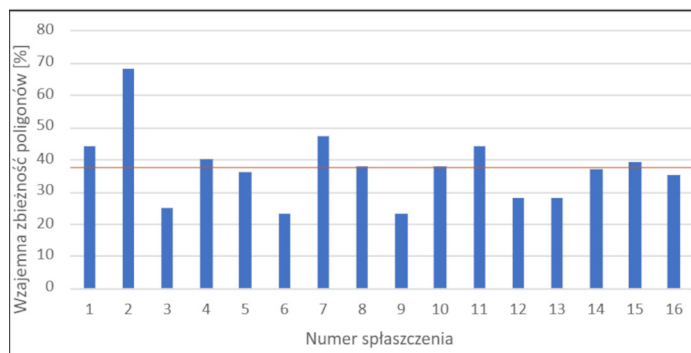
Rys. 10. Mapa nachyleń ze spłaszczeniami (powierzchniami płaskimi) wyznaczonymi manualnie i komputerowo (nachylenie $0,0^\circ$ – $0,6^\circ$)

Fig. 10. Slope map with flat areas determined manually and by computer (slope 0.0° – 0.6°)

Bez względu na przyjętą metodę, manualną czy cyfrową, po zachodniej części rzeki znajduje się więcej spłaszczeń, są one bardziej rozległe i sumarycznie zajmują większą powierzchnię stożka/delty Kouris.

Porównanie spłaszczeń wyznaczonych obiema metodami pokazuje (rys. 10, 11), że największa zbieżność

występuje w obrębie drugiej powierzchni płaskiej (68%), a najmniejsza w obrębie 6 i 9 (22%). W jedenastu przypadkach na szesnastu zbieżność ta mieści się w przedziale 35–47%. Wartości medialna i modalna są podobne i wynoszą 38%.

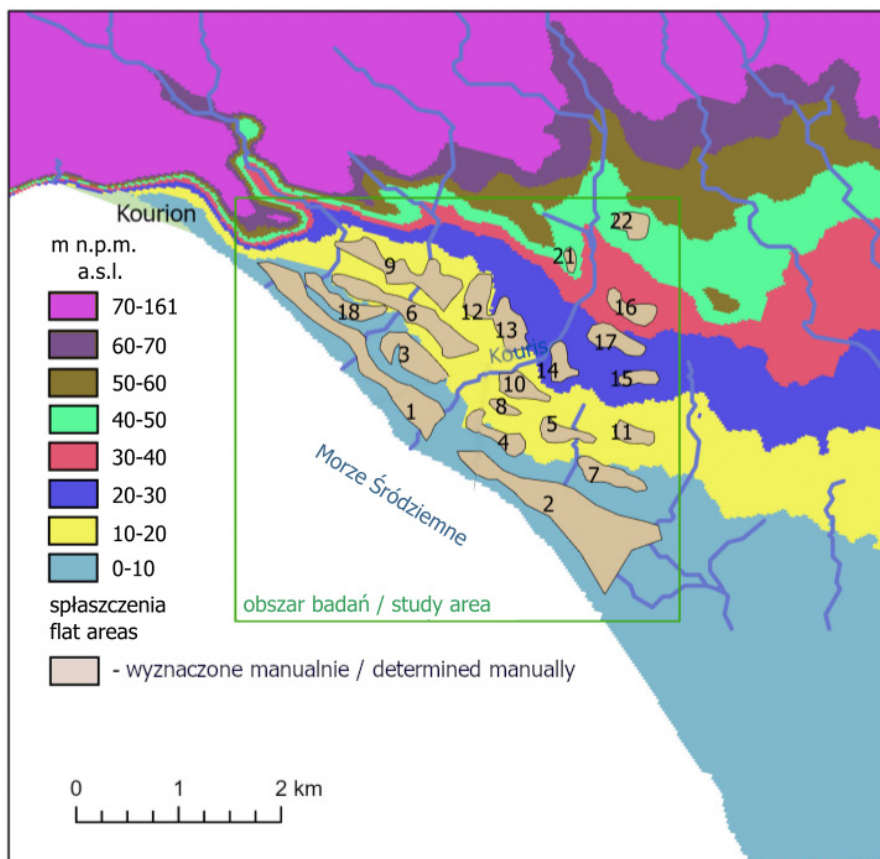


Rys. 11. Porównanie pomiędzy powierzchniami płaskimi wygenerowanymi manualnie i cyfrowo. Wartość średnią i modalną (38%) wyznacza czerwona linia

Fig. 11. Comparison between manually and digitally generated flat areas. The mean and moda values (38%) are indicated by the red line

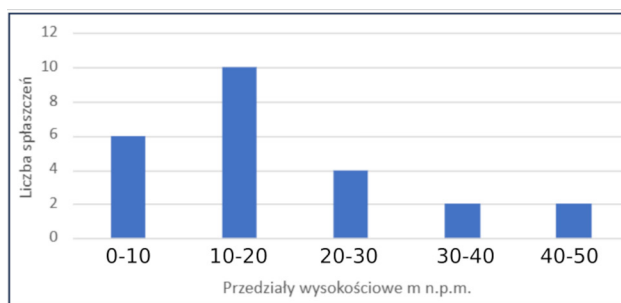
W kolejnym etapie przeanalizowano występowanie spłaszczeń od wybrzeża Morza Śródziemnego w kierunku obrzeżenia osadowego Troodos w poszczególnych przedziałach wysokości bezwzględnych. Przyjęto cięcie poziomowe 10 m (rys. 12, 13). W kilku przypadkach spłaszczenia występują na granicy pomiędzy przyjętymi przedziałami wysokościowymi i wtedy były one liczone w obu grupach.

Spłaszczenia zajmują 27% obszaru badań. Najwięcej spłaszczeń (7) występuje w przedziale wysokości 10–20 m n.p.m. i zajmują 30% jego powierzchni. Niewiele mniej (6) jest ich w najniższym (0–10 m n.p.m.), jednak zajmują sumarycznie największą powierzchnię (38%). Powyżej poziomu 20 m ilość i wielkość powierzchni płaskich wyraźnie spada. W przedziale 20–30 m n.p.m. występują 4 spłaszczenia (12% powierzchni), w przedziale 30–40 m n.p.m. jedno (7% powierzchni), a w najwyższym dwa (8% powierzchni).



Rys. 12. Spłaszczenia wyznaczone manualnie na mapie hipsometrycznej o cięciu poziomowym 10 m

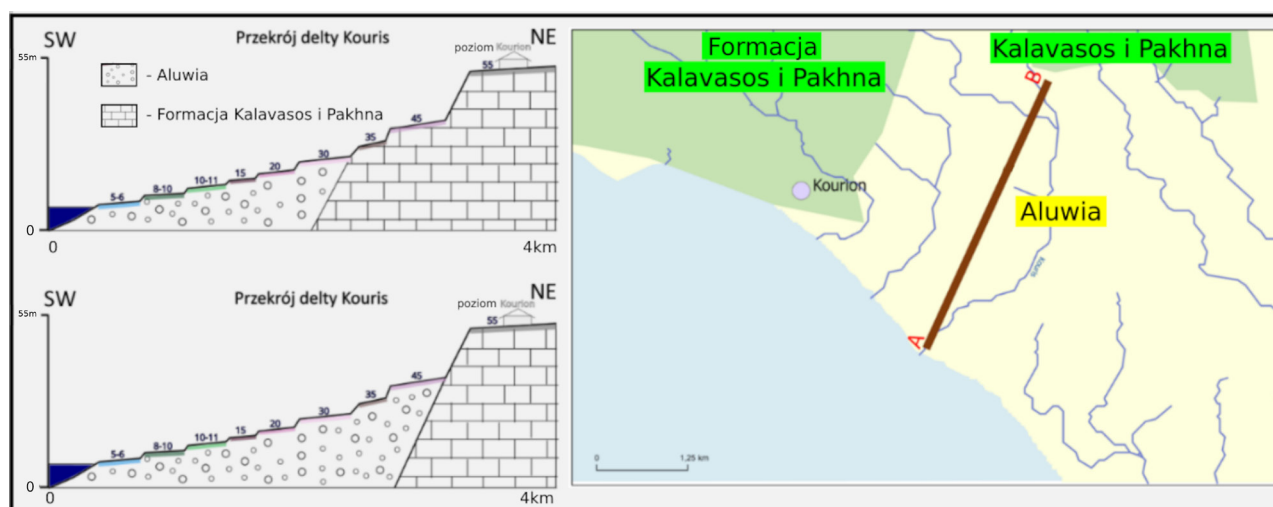
Fig. 12. Flat areas determined manually on the hipsometric map with a contour value of 10 m



Rys. 13. Liczba spłaszczeń wyznaczonych manualnie w przedziałach wysokościowych 10 m

Fig. 13. Number of flat areas determined manually in 10 m height intervals

W oprogramowaniu Inkscape wykonano schematyczne przekroje przez stożek/deltę Kouris od Morza Śródziemnego do węglanowego płaskowyżu osadowego obrzeżenia Troodos (rys. 14). Zaznaczono na nich spłaszczenia wyznaczone manualnie w obrębie aluwii stożka napływowego Kouris. Dla najwyższych zaproponowano dwa warianty, gdyż rozprzestrzenienie formacji Pakhna i Kalavastos na mapie geologicznej w tej skali nie jest precyzyjne i wymagałoby weryfikacji terenowej. Dlatego w pierwszym wariantcie są to, podobnie jak niższe, spłaszczenia akumulacyjne, natomiast w drugim dwa najwyższe poziomy są erozyjno-akumulacyjne (terasy skalno-akumulacyjne?, spłaszczenia strukturalne?) z cokołami skalnymi zbudowanymi z formacji węglanowych.



Rys. 14. Dwa warianty schematycznych przekrojów delty Kouris i przeglądowa mapa geologiczna okolic Kourion w skali 1:125 000

Fig. 14. Two variants of schematic cross-sections of the Kouris delta and a geological overview map of the Kourion area at a scale of 1:125,000

5. Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie obu metod morfometrycznych, manualnej i cyfrowej, na monotonnej i bardzo słabo zróżnicowanej równinie stożka napływowego/delty Kouris pozwoliło na wydzielenie spłaszczeń morfologicznych. Wynik zastosowanej analizy dowodzi, że powierzchnie wyznaczone manualnie są wykonane bardziej precyzyjnie niż powierzchnie wytyczone komputerowo. Średnia zgodność dla większości ($\frac{2}{3}$) wydzieleni zamyka się w przedziale 35–47%, a najwyższa (do 68%) jest w dwóch najniższych przedziałach wysokości (0–20 m n.p.m.). Do dalszych szczegółowych badań terenowych najkorzystniejsze byłoby wykorzystanie mapy wykonanej ręcznie, a mapa wygenerowana cyfrowo (raster 90 m) może służyć jedynie do weryfikacji. Jednak wynik mógłby być lepszy lub odmienny w przypadku posiadania rastra o większej rozdzielczości przestrzennej.

Przeprowadzona analiza, bez względu na zastosowaną metodę, pokazała wewnętrzne zróżnicowanie morfologii stożka napływowego/delty Kouris, jeśli chodzi o ilość i rozmiary spłaszczeń. Kształt stożka powoduje, że najszerszymi strefami i jednocześnie z najwyższą liczbą spłaszczeń są te położone najbliżej morza. Jednak na zachód od rzeki znajduje się więcej powierzchni płaskich i są one większe niż we wschodniej części. Może to być wynikiem ewolucji tej formy i zmienności akumulacji na różnych pobocznicach stożka, a także ząbaniem się tej głównej formy Kouris z mniejszymi stożkami cieków rozcinających węglanowy płaskowyż. Różnice te mogą być podstawą do rozważań paleogeograficznych. Wymaga to jednak dalszych badań.

Wyniki powyższych analiz mogą być wykorzystane między innymi do badań geohistorycznych (Wnęk 2010), czy geoarcheologicznych (Kalicki i in. 2022a,b). Rozwój stożka Kourion, zmiany biegu koryt w jego obrębie będą podstawą do takich rozważań, np. lokalizacji i funkcjonowania starożytnego miasta Kourion, czy średniowiecznego zamku w Kolossi.

6. Literatura

- Christophe S. 2011. Cartographic Styles between traditional and original (towards a cartographic style model). Materiał konferencyjny: Auto-Carto Conference.
- Cohen D., Rutherford N.F., Morisseau E., Zissimos A.M. 2012. Geochemical patterns in the soils of Cyprus. *The Science of The Total Environment* 420: 250–262. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.01.036>
- Evlepidou N., Ganas A., Karkani A., Spyrou E., Saitis G. 2023. Late Quaternary Relative Sea-Level Changes and Vertical GNSS Motions in the Gulf of Corinth: The Asymmetric Localization of Deformation Inside an Active Half-Graben. *Geosciences* 13: 329. <https://doi.org/10.3390/geosciences13110329>
- Farmakis-Serebryakova M., Hurni L. 2020. Comparison of Relief Shading Techniques Applied to Landforms. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9: 1–24.
- Geoportal CY: <https://geoportal-gsd.moa.gov.cy/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=a18a7b0a0c494ef8abc21be965a07308> (dostęp online 2024).
- Harrison R., Newell W., Panayides I., Stone B., Tsiolakis E., Necdet M., Batihanli H., Ozgur A., Lord A., Berksoy O., Zomeni Z., Schindler, J.S. 2008. Bedrock geologic map of the greater Lefkosia area, Cyprus: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Map 3046, 1 map, scale 1:25,000: 1–36.
- Kalicki T., Chwałek S., Konstantinowski Puntos J. 2022a. Environmental conditions of the location and functioning of ancient cities in the SW Cyprus. Abstracts of Conference of Environmental Archaeology (CEA) 2022 “The Environment as an Archive of Past Human Activity” (ed. T. Kalicki), 4–6.04.2022, Kielce–Suchedniów: 35–47.
- Kalicki T., Chwałek S., Konstantinowski Puntos J. 2022b. Environmental conditions of the location and functioning of ancient cities in the SW Cyprus, [in:] *The environment as an archive of past human activities* (ed. T. Kalicki), Kielce–Białystok. Ośrodek Badań Europy Środkowo-Wschodniej: 17–22.
- Siwek J., Wacławik W. 2015. Czy cieniowanie analityczne może być sztuką? Rozważania na kanwie eksperymentu w programach ArcGIS i Surfer. *Polski Przegląd Kartograficzny* 47(3): 197–212.
- Szypuła B., Wieczorek M. 2011. Geomorfometryczna analiza rzeźby Wyżyny Śląskiej metodą wskaźnika TPI. Główne problemy współczesnej kartografii. Zastosowanie statystyki w GIS i kartografii: 73–82.
- Urbański J. 2012. GIS w badaniach przyrodniczych. Uniwersytet Gdański, Gdańsk.
- Wieczorek M., Żyszkowska W. 2011. Geomorfometria – parametry morfometryczne w charakterystyce rzeźby terenu. *Polski Przegląd Kartograficzny* 43(2): 130–144.
- Wnęk K. 2010. Systemy GIS w badaniach historycznych. Zeszyty naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace historyczne, MCCCXII, 137: 153–171.
- Zomeni Z. 2012. Quaternary Marine Terraces on Cyprus: Constraints on Uplift and Pedogenesis and the Geoarchaeology of Palaipafos (tapescript of PhD dissertation submitted to Oregon State University): 1–120.

Paweł Przepióra¹  • Piotr Przepióra²⁽¹⁾ Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Geografii i Nauk o Środowisku, Zakład Geomorfologii i Geoarcheologii⁽²⁾ Nadleśnictwo Suchedniów

E-mail: pawelpzepiora1988@gmail.com; piotr601960@onet.pl



Potencjał geoedukacyjny historycznych pól górniczych w świetle sieci dróg leśnych Nadleśnictwa Suchedniów (woj. świętokrzyskie)

Geoeducational potential of historical mining fields in the light of the forest road network of the Suchedniów Forest District (Świętokrzyskie Voivodeship)

Zarys treści

Nadleśnictwo Suchedniów podlega Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Radomiu. Leży w województwie świętokrzyskim, w powiatach skarżyskim, kieleckim, koneckim oraz starachowickim. Jego obszar wynosi ok. 369 km², z czego 185 km² to lasy gospodarowane przez Lasy Państwowe. Rozpoznano tu liczne historyczne ślady poeksploatacyjne rud żelaza w rudonośnych piaskowcach triasowych. Występują w zwartych zgrupowaniach tworząc charakterystyczny krajobraz pogórnicy. Są bardzo słabo rozpoznane archeologicznie. W oparciu o walory geoturystyczne i dostępność komunikacyjną dróg leśnych przeanalizowano problem możliwego wykorzystania zabytkowych pól górniczych do celów geoedukacyjnych. Największy potencjał dla rozbudowy produktu geoedukacyjnego oraz geoturystycznego ma zachodnia część Nadleśnictwa. Znajdują się tu trzy rezerваты (Świnia Góra, Dalejów i Bliżyn – Kopalnia Ludwik), w których występują najlepiej zachowane historyczne pozostałości infrastruktury górniczej. Rozbudowane połączenie dróg leśnych zapewnia bardzo dobrą dostępność dla zwiedzających do poszczególnych pól pogórnicy. Prowadzą również do nich ważniejsze szlaki turystyczne, które wykorzystują istniejącą infrastrukturę drogową. Pola pogórnicy są dodatkowo objęte ochroną prawną w granicach rezerwatów i parku krajobrazowego. Wskazane jest również opracowanie i poprowadzenie w tym miejscu tematycznej ścieżki geoedukacyjnej, która zapewni dodatkową promocję okolicznych lasów bez zbędnych, ingerujących w środowisko inwestycji.

Słowa kluczowe Nadleśnictwo Suchedniów, lasy, drogi leśne, geoedukacja, krajobraz pogórnicy.

Abstract

The Suchedniów Forest District is subordinate to the Regional Directorate of the State Forests in Radom. It is located in the Świętokrzyskie Voivodeship, in the Skarżysko, Kielce, Końskie and Starachowice Districts. Its area is approx. 369 km², of which 185 km² are forests managed by the State Forests. Many historical traces of iron ore mining in ore-bearing Triassic sandstones have been identified. They occur in compact groups, creating a characteristic post-mining landscape. They are very poorly explored archaeologically. Based on geotourist values and the communication accessibility of forest roads, the problem of the possible use of historic mining fields for geoeducational purposes was analyzed. The western part of the Forest District has the greatest potential for expanding the geoeducational and geotourist product. Three reserves are located here (Świnia Góra, Dalejów and Bliżyn – Kopalnia Ludwik), in which there are the best-preserved historical remains of mining infrastructure. The extensive connection of forest roads ensures very good access for visitors to selected post-mining fields. They are also accessed by more important tourist routes that use the existing road infrastructure. Post-mining fields are additionally under law protection within the boundaries of reserves and a landscape park. It is also advisable to develop and conduct a thematic geoeducational path in this place, which will ensure the additional promotion of the surrounding forests without unnecessary additional investments that interfere in the environment.

Keywords Suchedniów Forest District, forests, forest roads, geoeducation, post-mining landscape.

1. Wprowadzenie

Zagospodarowanie miejsc i obiektów o szczególnych walorach krajobrazowo-kulturowych jest ważnym zadaniem w planowaniu i kształtowaniu przestrzeni edukacyjnej i turystycznej obszarów o dużym znaczeniu przyrodniczym. Komponenty przyrodnicze stanowią dla

wielu terenów chronionych (parki narodowe, krajobrazowe, rezerваты itp.) główny czynnik napędzający ruch turystyczny oparty na ścieżkach pieszych, rowerowych i konnych. Przy obsłudze natężenia ruchu turystycznego duże znaczenie mają różnego rodzaju szlaki komunikacyjne, ich stan oraz dodatkowa infrastruktura pomocnicza. Dostępność, czyli możliwość korzystania na równych



Original article; Received: 16.04.2025; Revised: 22.05.2025; Accepted: 29.05.2025

© by the author, licensee University of Lodz – Lodz University Press, Lodz, Poland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license CC BY-NC-ND 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)
Funding information: Not applicable. **Conflicts of interests:** None. **Ethical considerations:** The Author assures of no violations of publication ethics and takes full responsibility for the content of the publication.

prawach z innymi do przestrzeni turystycznej w ujęciu geograficznym, tj. dostępność komunikacyjna, drogowa, szlaków turystycznych (np. Warszńska, Jackowski 1978; Cabaj, Kruczek 2010; Zajadacz 2014) stanowi jeden z częstszych problemów przy współczesnym opracowywaniu ścieżek turystycznych oraz edukacyjnych. Niewątpliwie, właściwe połączenie elementów przyrodniczych z dostępnością komunikacyjną ułatwia uprawianie turystyki przez osoby ukierunkowane na bliski kontakt z przyrodą, poznanie dóbr kultury i zarazem dążące do odwiedzenia jak największej liczby miejsc w krótkim czasie. Obiekty o znaczeniu kulturowym i historycznym często uzupełniają przyrodnicze walory turystyczne, stając się kluczowymi punktami w szerzeniu regionalnej geoedukacji. Stanowią one również urozmaicenie dla ścieżek edukacyjnych i szlaków turystycznych wprowadzając równowagę w prezentowaniu oddziaływania „człowiek – środowisko”.

Góry Świętokrzyskie stanowią dobry przykład oddziaływania człowieka na poszczególne komponenty przyrodnicze. Umożliwia to tworzenie zróżnicowanych ścieżek geoedukacyjnych (m.in. Król i in. 2011; Ludwikowska-Kędzia, Wiatrak 2013; Fijałkowska-Mader, Szadkowska 2021). W promocji regionu świętokrzyskiego wykorzystywane są również gęste lasy. Grunty podlegające Nadleśnictwu Suchedniów reprezentują jeden z ciekawszych drzewostanów, które są obiektem różnych zainteresowań badawczych z zakresu m.in. biologii (Pierścińska, Piwowarski 2017; Zubek i in. 2022), geologii (Urban 2015, 2017; Przepióra i in. 2017; Kalicki i in. 2022b), geomorfologii (Przepióra 2021; Kalicki i in. 2022a), a nawet archeologii (Czernek 2022) oraz historii (Fitas 2017; Kozak 2020, 2022). To właśnie bogata historia tego regionu oparta na dawnym górnictwie rud żelaza oraz przemyśle metalurgicznym Staropolskiego Okręgu Przemysłowego (Radwan 1963; Bielenin 1992) pozostawiła w krajobrazie liczne ślady. Późniejsze wydarzenia związane z rozwojem nowożytnego przemysłu (m.in. Janeczek 2018; Szczepański 2018), działaniami powstańczymi (m.in. Piasta 2012; Kołomańska 2019) oraz militarnymi m.in. w czasie II Wojny Światowej (m.in. Przepióra 2021) również miały duży wpływ na kształtowanie współczesnego Suchedniowa i krajobrazu okolicznych lasów.

Bogactwo Nadleśnictwa Suchedniów opiera się na dwóch elementach: przyrodniczym i antropogenicznym. Budowa geologiczna i związana z nią baza surowcowa rud żelaza stanowiła podstawę dla intensywnego rozwoju historycznej antropopresji, po której pozostał charakterystyczny krajobraz pogórnicy (Kuszał i in. 2020; Przepióra i in. 2021). Inne, liczne elementy dziedzictwa kulturowego związanego z działalnością dwóch dawnych ośrodków przemysłowych, Skarżyska-Kamiennej i Suchedniowa (np. młyny, ruiny kuźnic, zabytkowa infrastruktura przemysłowa) stanowią dodatkową atrakcję o charakterze geoedukacyjnym (Kalicki i in. 2018; Przepióra i in. 2019a). Liczne zabytki występujące na terenie Nadleśnictwa są przeważnie pozbawione należytej ochrony prawnej, co przyczynia się do ich powolnej degradacji. Zagospodarowanie w celach geoedukacyjnych zabytkowych, histo-

rycznych pól górniczych na tym terenie wzbogaciłoby promocyjne zaplecze regionu zwiększając również zainteresowanie charakterystycznym dla okolicznych lasów krajobrazem pogórnicy.

2. Charakterystyka obszaru

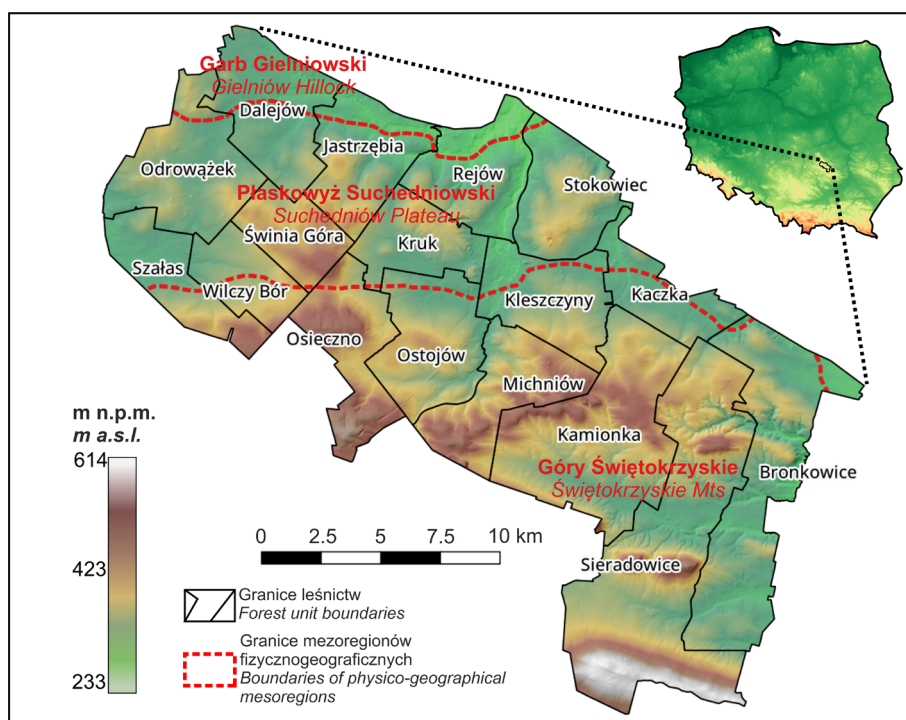
Nadleśnictwo Suchedniów jest jednym z 23 jednostek organizacyjnych podlegających Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Radomiu. Według podziału administracyjnego kraju, jego grunty położone są w województwie świętokrzyskim, w powiatach skarżyskim, kieleckim, koneckim oraz starachowickim. Obszar Nadleśnictwa wynosi ok. 369 km², z czego 185 km² to obszary leśne podlegające Lasom Państwowym (<https://suchedniow.radom.lasy.gov.pl>). Według regionalizacji fizyczno-geograficznej (rys. 1) (Kondracki 1977, 2002; Solon i in. 2018; Richling i in. 2021) teren nadleśnictwa położony jest w:

- Megaregion – Pozaalpejska Europa Środkowa (3)
- Prowincja – Wyżyny Polskie (34)
- Podprowincja – Wyżyna Małopolska (342)
- Makroregion – Wyżyna Kielecka (342.3)
- Mezoregion – Płaskowyż Suchedniowski (342.31)
 - Garb Gielniowski (342.32)
 - Góry Świętokrzyskie (342.34-35).

Na budowę geologiczną składają się głównie wychodnie czerwonych piaskowców dolnotriasowych przykrytych marglami i iltami dolnojurajskimi oraz gliny (zwałowe i zwietrzelinowe), piaski i żwiry zlodowaceń plejstocen-skich występujące przeważnie w zachodniej, centralnej i wschodniej części badanego obszaru. Południowo-zachodnią część budują skały głównego Pasma Łysogórskiego (piaskowce kwarcytowe), natomiast na północnym przedpolu Gór Świętokrzyskich starsze utwory przykryte są lessami. Przez środkową i północną część badanego obszaru płynie Kamienna oraz jej prawostronny dopływ Kamionka, w których dolinach akumulowane były piaski, żwiry i mułki rzeczne (rys. 2) (Richling i in. 2021; <http://bdl.lasy.gov.pl>).

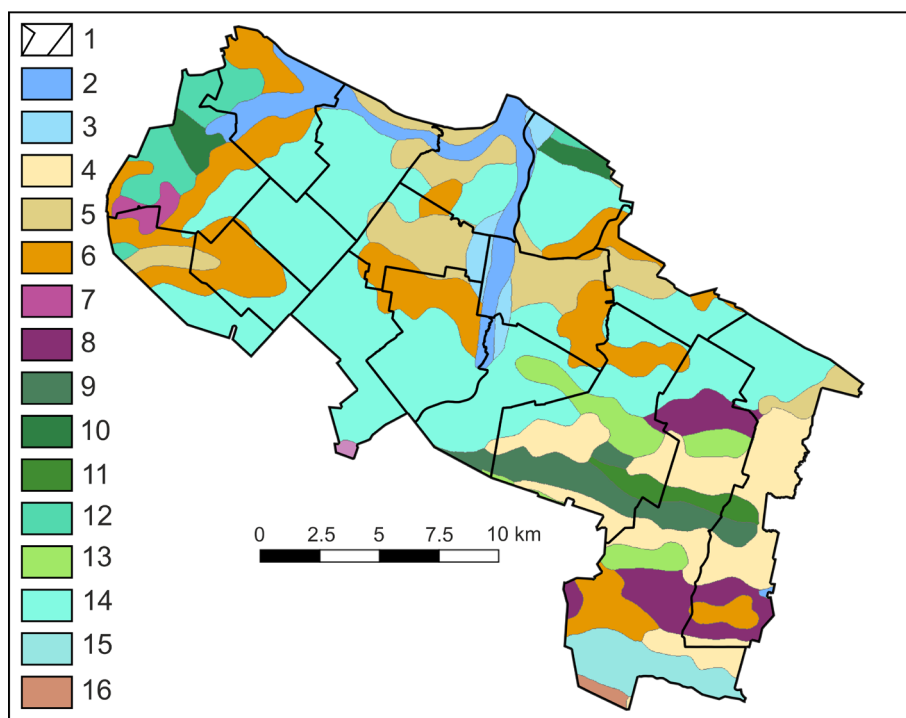
Charakterystyczna dla północnego przedpola Gór Świętokrzyskich wyżynna rzeźba terenu odzwierciedla budowę geologiczną (<http://bdl.lasy.gov.pl>). Kopulaste wzniesienia przekraczające niekiedy 300 m n.p.m. rozcinane są licznymi dolinami. Obszar leży w dorzeczu Wisły w granicach zlewni, m.in. Kamiennej w północnej i środkowej części oraz Świśliny we wschodniej (Richling i in. 2021). Obecne korekty granic doprowadziły do włączenia głównego pasma Gór Świętokrzyskich do obszaru Nadleśnictwa Suchedniów przyczyniając się do wzrostu deniwelacji terenu nawet do ok. 380 m (rys. 1).

Według regionalizacji przyrodniczo-leśnej (Zielony, Kliczkowska 2012), lasy Nadleśnictwa Suchedniów położone są w krainie Małopolskiej (VI), głównie w granicach mezoregionu Puszczy Świętokrzyskiej (VI.23), częściowo Łysogórskiego (VI.23) oraz Opatowskiego (VI.28). Tereny te znajdują się w zasięgu naturalnego występowania wszystkich najważniejszych gatunków drzew leśnych w Polsce. Całość gruntów Nadleśnictwa podzielona jest na



Rys. 1. Położenie Nadleśnictwa Suchedniów na Numerycznym Modelu Terenu (<http://geoportal.gov.pl>) z podziałem na leśnictwa oraz zasięgiem mezoregionów fizyczno-geograficznych (Solon i in. 2018)

Fig. 1. Location of the Suchedniów Forest District in Digital Elevation Model (<http://geoportal.gov.pl>) with the forest unit boundaries and the range of physico-geographical mesoregions (Solon et al. 2018)



Rys. 2. Budowa geologiczna Nadleśnictwa Suchedniów (<http://bdl.lasy.gov.pl>) z podziałem na leśnictwa (objaśnienia na rys. 1)

1 – granice leśnictw, 2 – piaski, żwiry, mady rzeczne oraz torfy i namuły, 3 – piaski, żwiry i mułki rzeczne, 4 – leśsy, 5 – piaski i żwiry sandrowe, 6 – gliny zwałowe, ich zwietrzliny oraz piaski i żwiry lodowcowe, 7 – piaskowce, mułowce, iłowce z wkładkami syderytów, 8 – łupki krzemionkowe, iłowce graptolitowe, wapienie, mułowce, 9 – dolomity, wapienie, margle, mułowce, piaskowce i iłowce, 10 – wapienie, dolomity, margle, wapienie oolityczne, iłowce, lokalnie mułowce, anhydryty i gipsy, 11 – wapienie, dolomity, margle, iłowce, łupki ilaste, piaskowce, mułowce i zlepierce, 12 – iłowce, mułowce, piaskowce, dolomity, wapienie, gipsy, sole kamienne i anhydryty, 13 – piaskowce, mułowce z wkładkami iłów i zlepierców, iłowce i zlepierce, 14 – piaskowce, margle, zlepierce, iłowce i rudy żelaza, 15 – piaskowce i kwarcyty z wkładkami łupków, mułowce i iłowce, 16 – piaskowce, iłowce, zlepierce, mułowce

Fig. 2. Geological structure of the Suchedniów Forest District (<http://bdl.lasy.gov.pl>) with the forest unit boundaries (explanations in Fig. 1)

1 – forest unit boundaries, 2 – sands, gravels, fluvisols and peats and silts, 3 – river sands, gravels and silts, 4 – loess, 5 – outwash sands and gravels, 6 – boulder clays, their weathered deposits and glacial sands and gravels, 7 – sandstones, mudstones, claystones with siderite inserts, 8 – siliceous shales, graptolitic claystones, limestones, mudstones, 9 – dolomites, limestones, marls, mudstones, sandstones and claystones, 10 – limestones, dolomites, marls, oolite limestones, claystones, locally mudstones, anhydrites and gypsums, 11 – limestones, dolomites, marls, claystones, shales, sandstones, mudstones and conglomerates, 12 – claystones, mudstones, sandstones, dolomites, limestones, gypsums, rock salts and anhydrites, 13 – sandstones, mudstones with clay and conglomerate inserts, claystones and conglomerates, 14 – sandstones, marls, conglomerates, claystones and iron ores, 15 – sandstones and quartzites with shale inserts, mudstones and claystones, 16 – sandstones, claystones, conglomerates, mudstones

3 obręby oraz 17 leśnictw z lasami o łącznej powierzchni przekraczającej 18 tys. ha. Należy zwrócić uwagę, że na przestrzeni lat granice Nadleśnictwa podlegały korektom, które mogły te dane nieco zmienić, np. łączono ze sobą mniejsze leśnictwa w jedno, czy przesunięto granice Leśnictwa Sieradowice i Bronkowice aż do głównego Pasma Łysogórskiego (rys. 1).

3. Cele i metody

Celem artykułu jest wskazanie możliwego wykorzystania zabytkowych pól górniczych na terenie Nadleśnictwa Suchedniów do celów geoedukacyjnych w oparciu o walory geoturystyczne i dostępność komunikacyjną. Do określenia potencjału geoedukacyjnego uwzględniono dostępność wybranych historycznych pól pogórniczych na podstawie istniejącej leśnej infrastruktury drogowej i turystycznej wraz ze stanem zachowania poszczególnych zabytków. Uzyskane wyniki posłużą do wskazania możliwości optymalnego zagospodarowania lub wykorzystania obecnej infrastruktury leśnej do usprawnienia dostępności badanego terenu w celach turystycznych i przede wszystkim geoedukacyjnych przy równoczesnym ograniczeniu negatywnego oddziaływania na środowisko przyrodnicze.

Badania terenowe skupiały się na weryfikacji dostępności oraz stanu zachowania wytypowanych zabytków pogórniczych. Wykonano również dokumentację fotograficzną wybranych obiektów poeksploatacyjnych oraz prowadzących do nich głównych dróg leśnych.

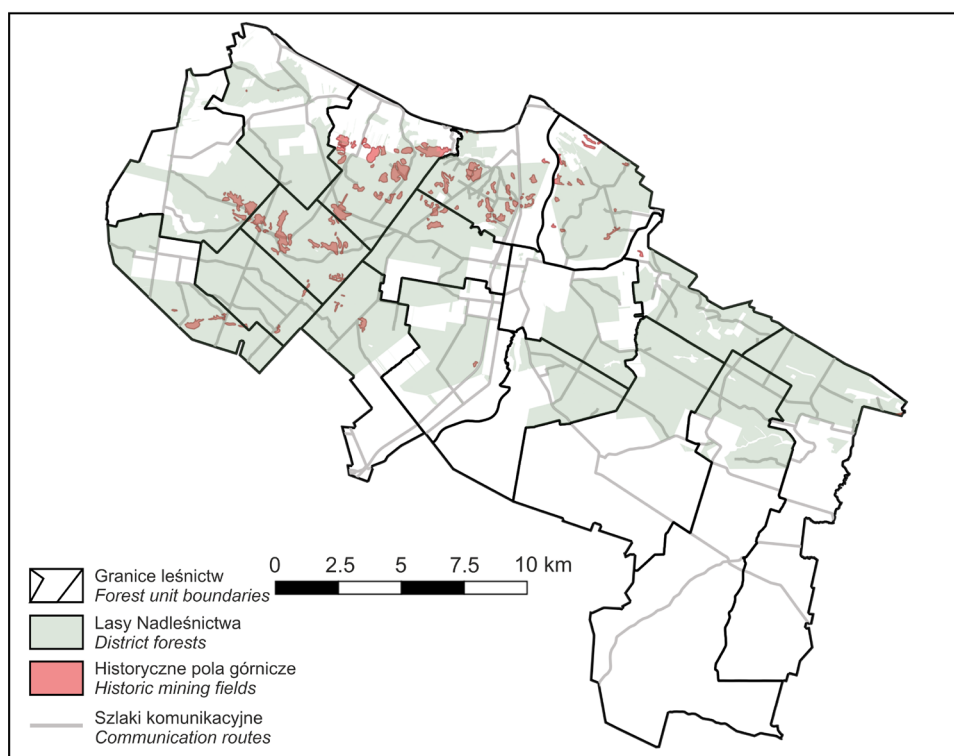
Prace kameralne polegały na pozyskaniu i przetworzeniu danych cyfrowych oraz archiwalnych. Materiały wyjściowe uzyskano bezpośrednio z Nadleśnictwa Suchedniów oraz Banku Danych o Lasach (<http://bdl.lasy.gov.pl>). Obejmują one aktualne informacje dotyczące rozmieszczenia i typu głównych szlaków komunikacyjnych na badanym terenie. Uzyskano również dane na temat zagospodarowania turystycznego badanego obszaru, w szczególności lokalizacji ścieżek edukacyjnych i szlaków turystycznych. Na podstawie Numerycznego Modelu Terenu (NMT) (<http://geoportal.gov.pl>) i materiałów historycznych zlokalizowano występowanie również obiektów nieujętych w danych wyjściowych, tj. 127 prawdopodobnych historycznych pól górniczych. Podstawowe dane przyrodnicze, tj. budowa geologiczna oraz obszary chronione zaczerpnięto z dostępnych publicznie cyfrowych baz danych (<http://bdl.lasy.gov.pl>; <https://geoserwis.gdos.gov.pl>). Wykonano również kwerendę materiałów archiwalnych, historycznych i naukowych dotyczących badanego obszaru. Uzyskane wyniki posłużyły do opracowania map tematycznych z użyciem oprogramowania QGIS oraz Corel Draw.

4. Ślady historycznego górnictwa

W regionie świętokrzyskim bardzo intensywnie rozwijało się prehistoryczne, a następnie historyczne górnictwo oraz przemysł oparty na wytopie pozyskiwanej rudy

metali, głównie żelaza. W okresie rzymskim obszar ten stanowił centrum starożytnego hutnictwa dymarskiego żelaza kultury przeworskiej. Główny region zlokalizowany był na północ od głównego pasma świętokrzyskiego, w dorzeczu Świśliny (Orzechowski 2007, 2013), wokół którego rozmieszczone były mniejsze eksklawy, np. nadnidziańskiego ośrodka dymarskiego w dorzeczu Czarnej Nidy (Przychodni 2002, 2006). Również w średniowieczu intensywnie rozwijał się przemysł metalurgiczny, oparty głównie na zakładach produkcyjnych napędzanych kołem wodnym (Radwan 1963). Liczne kuźnie i huty rozmieszczano wzdłuż niewielkich cieków, na których budowano antropogeniczny system małej retencji (Kalicki i in. 2019). Zakłady te przeważnie powstawały na rzekach zlokalizowanych w sąsiedztwie rudonośnych złóż (Jach, Rutkiewicz 2024). Na północny zachód od Suchedniowa, na pobliskich wzgórzach znajduje się wyraźna koncentracja różnowiekowych szybów górniczych (Przepióra 2021; Czernek 2022), które zaopatrywały przez ostatnie wieki pobliskie kuźnie (Bielenin 1992). Te liczne pozostałości dawnej działalności eksploatacyjnej stanowią kluczowy element charakterystycznego dla tego regionu krajobrazu pogórniczego.

Powierzchniowe rozpoznanie archeologiczne badanego terenu jest utrudnione przez gęste lasy, o czym świadczy m.in. niepełny stan wykonanych dotychczas Archeologicznych Zdjęć Polski (AZP) na terenie Suchedniowsko-Oblęgorskiego Parku Krajobrazowego (Czernek 2022; <https://zabytek.pl/pl>), obejmującego swoimi granicami zachodnią część Nadleśnictwa Suchedniów. Większość badań archeologicznych obejmowała wyłącznie obszary otwarte, przeważnie użytkowane rolniczo. W obrębie kompleksów leśnych dopiero metody LiDAR-owe umożliwiły rozpoznanie licznych, historycznych pól górniczych (rys. 3) (Heliasz, Ostaficzuk 2020; Przepióra 2021; Czernek 2022; Kalicki i in. 2022a; Jach, Rutkiewicz 2024). Zabytki te stanowią obiekty najłatwiej rozpoznane przez badania archeologiczne i w efekcie tego historyczne pola górnicze nie doczekały się szerszego opracowania naukowego i skatalogowania. Spowodowane jest to również przez ograniczony zasób danych na temat górnictwa w Lasach Suchedniowskich. Są to przeważnie pojedyncze wzmianki o poszczególnych kopalniach i lokalnych zakładach przetwórczych (m.in. Osiński 1782; Łabęcki 1841). Górnictwo oraz hutnictwo żelaza rozwijało się tu przy użyciu podobnych technologii, jakie były stosowane w innych regionach Polski i Europy (np. Fularczyk i in. 2020; Przepióra i in. 2021). Wiele dodatkowych informacji może dać porównanie lokalnych pól pogórniczych z lepiej rozpoznanymi pozostałościami średniowiecznej eksploatacji rud metali, np. w okolicach Olkusza (Rozmus 2014, 2023) (rys. 4A) lub Stanicy (Waga i in. 2022). Również ówczesne europejskie górnictwo dokładnie zostało opisane przez Georgiusa Agricole (1556) i przedstawione przez niego na szczegółowych rycinach (rys. 4B, 4C), co stanowi doskonałą bazę do interpretacji pozostałości górniczych w innych regionach Polski, w tym również Gór Świętokrzyskich.



Rys. 3. Rozmieszczenie historycznych pól górniczych rozpoznanych w oparciu o NMT na terenie Nadleśnictwa Suchedniów z podziałem na leśnictwa (objaśnienia na rys. 1) (<http://geoportal.gov.pl>; oprac. własne)

Fig. 3. Location of historical mining fields identified based on DEM in the Suchedniów Forest District with the forest unit boundaries (explanations in Fig. 1) (<http://geoportal.gov.pl>; own elaboration)



Rys. 4. Część wystawy „Podziemnego Olkusza” z elementem makiety rekonstruującej średniowieczny krajobraz górniczy (A) (fot. Paweł Przepióra 2024) oraz rycinę pokazującą szukanie rud metali przy pomocy różdżki, kopanie sztybów poszukiwawczych (B) i eksploatacyjnych (C) (Agricola 1556)



Fig. 4. Part of the exhibition from “Underground Olkusz” with a part of a model reconstructing a medieval mining landscape (A) (photo by Paweł Przepióra 2024) and engravings showing searching for metal ores with a rod, digging exploration (B) and exploitation shafts (C) (Agricola 1556)

Na badanym obszarze występują liczne pozostałości historycznej, przeważnie XVI–XIX-wiecznej, a nawet XX-wiecznej eksploatacji rud żelaza (Adamczyk i in. 2010). Dokładniejsze przestrzenne rozpoznanie ich w obrębie gęstych lasów (rys. 3) umożliwia zastosowanie NMT (rys. 5) (<http://geoportal.gov.pl>). Ukazuje on tysiące niewielkich obniżeń po zapadniętych szybach górniczych (pingi) i otaczających ich hałd skały płonnej (warpy). Największa ich koncentracja znajduje się w północno-zachodniej części Nadleśnictwa Suchedniów (rys. 3) i niemal wszystkie występują w granicach Płaskowyżu Suchedniowskiego (rys. 1). Szyby górnicze rozmieszczone są przeważnie w nieregularnych zgrupowaniach o różnych rozmiarach. Na badanym terenie rozpoznano dotychczas 127 prawdopodobnych historycznych pól górniczych, których łączna powierzchnia wynosi 6,18 km² (618 ha). Przeważająca ich część zlokalizowana jest na wychodniach piaskowców triasowych, w których występują rudy żelaza (rys. 2). Największą powierzchnie zajmują w obrębie trzech leśnictw: Jastrzębia, Rejów oraz Świnia Góra. Na tych terenach formy reprezentujące krajobraz pogórnicy są najlepiej zachowane i nadal rozpoznawalne w terenie. Pozostałe leśnictwa, gdzie rozpoznano ślady historycznego górnictwa rud żelaza to Dalejów, Kaczka, Kruk, Odrowążek, Ostojów, Osieczno, Stokowiec i Szałas (rys. 3). Dotychczas formy te nie były obiektem szczegółowych badań. Lepiej rozpoznane są m.in. pola górnicze koło Daleszyc (Kozak i in. 2025), Ostrowca Świętokrzyskiego (Kaptur 2014; Jach, Rutkiewicz 2024), Skarżyska-Kamiennej (Janiec, Kardyś 2020) oraz Stąporkowa (Kusztal i in. 2020; Przepióra i in. 2021).

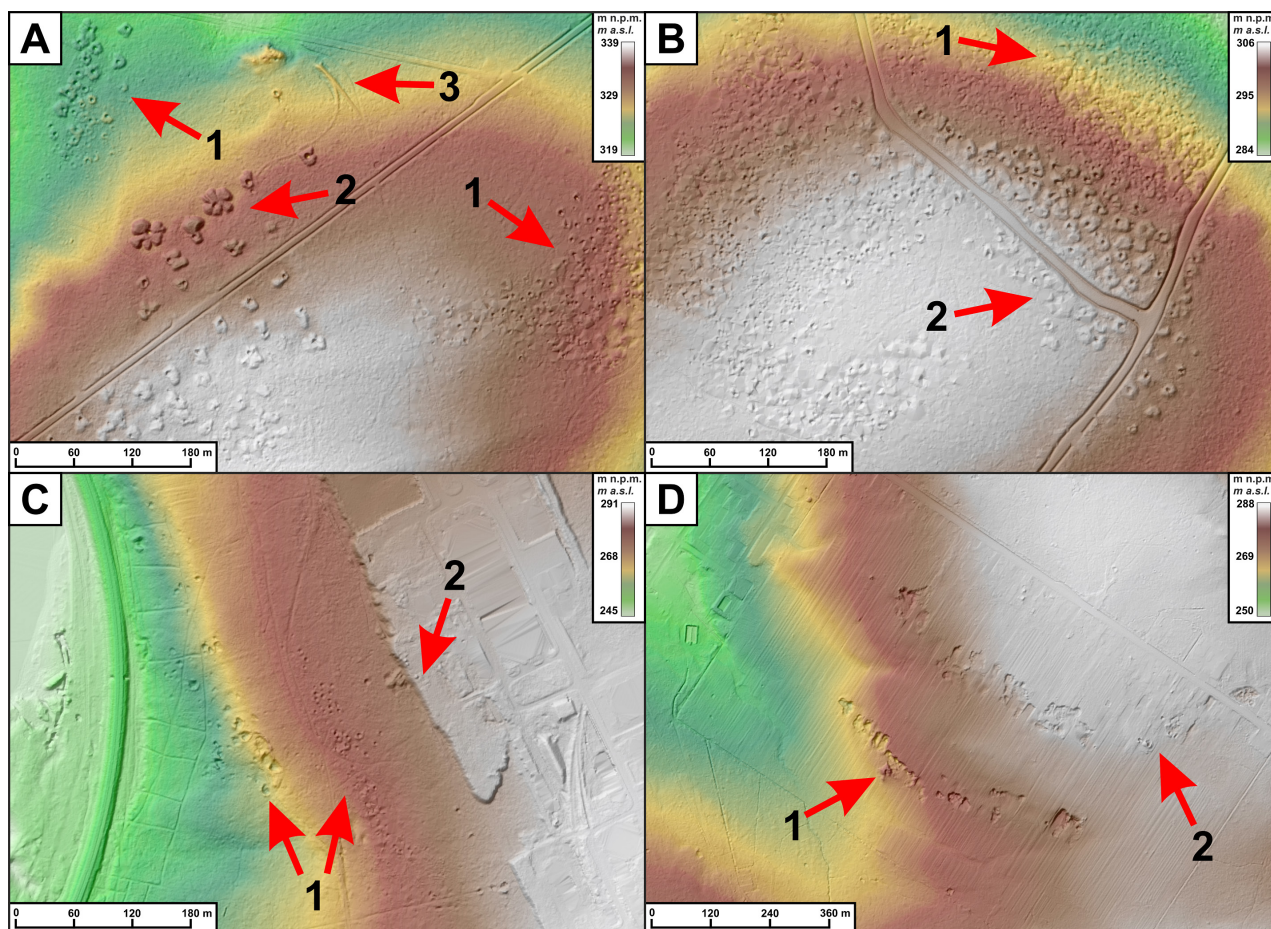
Podobieństwo form poeksploatacyjnych z Nadleśnictwa Suchedniów do innych w regionie może wskazywać na użytkowanie ich w podobnym okresie co sąsiednie historyczne kopalnie, m.in. w Osicowej Górze (Kusztal i in. 2020; Przepióra i in. 2021) i okolicach Skarżyska-Kamiennej (Janiec, Kardyś 2020). Zachowane liczne ślady średnio-wiecznej i nowożytnej eksploatacji oraz wytopu rud żelaza w dolinie Kamiennej i Kamionki wskazują na duże znaczenie tego obszaru w przemyśle górniczo-hutniczym, o czym świadczą również zachowane materiały historyczne i kartograficzne (m.in. Chrzanowski 1859; Bielenin 1992; Pajdo 2017). Dokładniejszym rozpoznaniem śladów historycznego górnictwa i hutnictwa żelaza objęto w szczególności najbliższe okolice Suchedniowa (m.in. Barański 1970; Piasta 2012; Jankowski 2017a; Brambert i in. 2018; Szczepański 2018; Szpunar 2018; Medyński, Zamela 2019; Przepióra i in. 2019b; Przepióra 2021), który przez wiele wieków był ważnym ośrodkiem przemysłowym. Obszar ten należał niegdyś do dóbr biskupów krakowskich i stanowił on ważny ośrodek górniczo-hutniczy określany mianem „klucza suchedniowskiego” z Suchedniowem jako jego centrum (Jankowski 2017b). Na początku XIX wieku zlokalizowany był tu zarząd górnictwa całego okręgu przemysłowego, który został później rozdzielony na dwa okręgi, zachodni i wschodni. Siedzibą tego drugiego był wówczas nadal Suchedniów (Piasta 2012; Medyński, Zamela 2019).

Z końcem XIX wieku wraz ze zmianami technologicznymi, przemysł górniczo-hutniczy chylił się ku upadkowi. Zaprzestano wydobywania z pobliskich, mało opłacalnych złóż rud żelaza, a w miejscu niektórych dawnych kuźnic wznoszono młyny wodne, które wykorzystywały dotychczasową infrastrukturę hydrotechniczną (Przepióra i in. 2019b; Fularczyk i in. 2020; Przepióra 2021).

5. Stan zagospodarowania badanego obszaru

Według pełnionych funkcji lasy Nadleśnictwa Suchedniów dzielone są na rezerваты – ok. 400 ha (ok. 2%), lasy ochronne – ok. 17 000 ha (ok. 96%) i lasy gospodarcze – ok. 400 ha (ok. 2%) (<http://suchedniow.radom.lasy.gov.pl>). Na przestrzeni lat granice Nadleśnictwa podlegały korektom. Nie zmieniały one znacząco zasięgu terenów leśnych podlegających Lasom Państwowym. Najnowsze zmiany zaszyły m.in. w południowo-wschodniej części Nadleśnictwa, którego granice obecnie sięgają północnego obszaru Świętokrzyskiego Parku Narodowego. W granicach Nadleśnictwa Suchedniów znajdują się również tereny należące do dwóch parków krajobrazowych, Suchedniowsko-Oblęgorskiego (zachodnia część badanego obszaru) i Sieradowickiego (wschodnia). Sprawia to, że większość Nadleśnictwa znajduje się w granicach obszarów chronionych. Na jego terenie wydzielono również obszary chronionego krajobrazu: Konecko-Łopuszański, Doliny Kamiennej, Podkielecki, Sieradowicki oraz Suchedniowsko-Oblęgorski, a także Natura 2000: Specjalny Obszar Ochrony Siedlisk Lasy Suchedniowskie, Specjalny Obszar Ochrony Siedlisk Dolina Krasnej, Projektowany Specjalny Obszar Ochrony Siedlisk Ostoja Sieradowicka oraz Projektowany Specjalny Obszar Ochrony Siedlisk Uroczysko Pięty. Poza tym wydzielono na badanym terenie kilka rezerwatów, tj. Rezerwat Przyrody Świnia Góra (rezerwat ścisły), Dalejów, Kamień Michniowski, Wykus, Góra Sieradowska i najmłodszy z nich Bliżyn-Kopalnia Ludwik (Koba 2023), w którego pobliżu również planowane są kolejne (<https://geoserwis.gdos.gov.pl>; <https://www.lasy.gov.pl/pl/informacje/aktualnosci/trzy-nowe-rezerваты-w-nadlesnictwie-suchedniow-2013-proponuje-rdhp-w-radomiu>; <http://suchedniow.radom.lasy.gov.pl>).

Dominujący tu obszar leśny objęty prawną ochroną przyrody zapewnia odwiedzającym okoliczne tereny możliwość podziwiania naturalnych krajobrazów Puszczy Świętokrzyskiej. Znajdujące się tu liczne pomniki przyrody ożywionej i nieożywionej stanowią rozpoznawalne punkty turystyczne wzdłuż licznych szlaków turystycznych (rys. 6). Większość z nich to szlaki piesze: czarny (ok. 25 km), czerwony (ok. 79 km), niebieski (ok. 38 km), zielony (ok. 54 km) i żółty (ok. 10 km). Stworzono również szlaki turystyczne pełniące inne funkcje, np. rowerowe czy konne (o łącznej długości ok. 386 km). Przygotowano także dwie ścieżki dydaktyczne w Leśnictwie Kruk oraz Michniów (rys. 7).



Rys. 5. Wybrane przykłady historycznych pól górniczych na terenie Nadleśnictwa Suchedniów widoczne na NMT (<http://geoportal.gov.pl>)

A – jedne z lepiej zachowanych w rzeźbie śladów historycznej eksploatacji rud żelaza z widocznymi pozostałościami mniejszych, starszych (prawdopodobnie poszukiwawczych) (1) i większych, młodszych szczybów górniczych (2) z częściowo widocznymi elementami infrastruktury kolejki wąskotorowej (3) na te leśnictwa Kruk; B – liczne ślady różnowiekowych mniejszych (1) i większych (2) szczybów górniczych, przez których obszar przebiega główny szlak komunikacyjny na terenie Leśnictwa Jastrzębia; C – pojedyncze pingi (1) częściowo przykryte przez nasyp budowlany (2) na terenie Leśnictwa Stokowiec; D – nieudokumentowane ślady dawnej eksploatacji zniszczonej przez działalność rolniczą (1) i budowlaną (2) na terenie Leśnictwa Stokowiec

Fig. 5. Selected examples of historical mining fields in the Suchedniów Forest District visible on the DEM (<http://geoportal.gov.pl>)

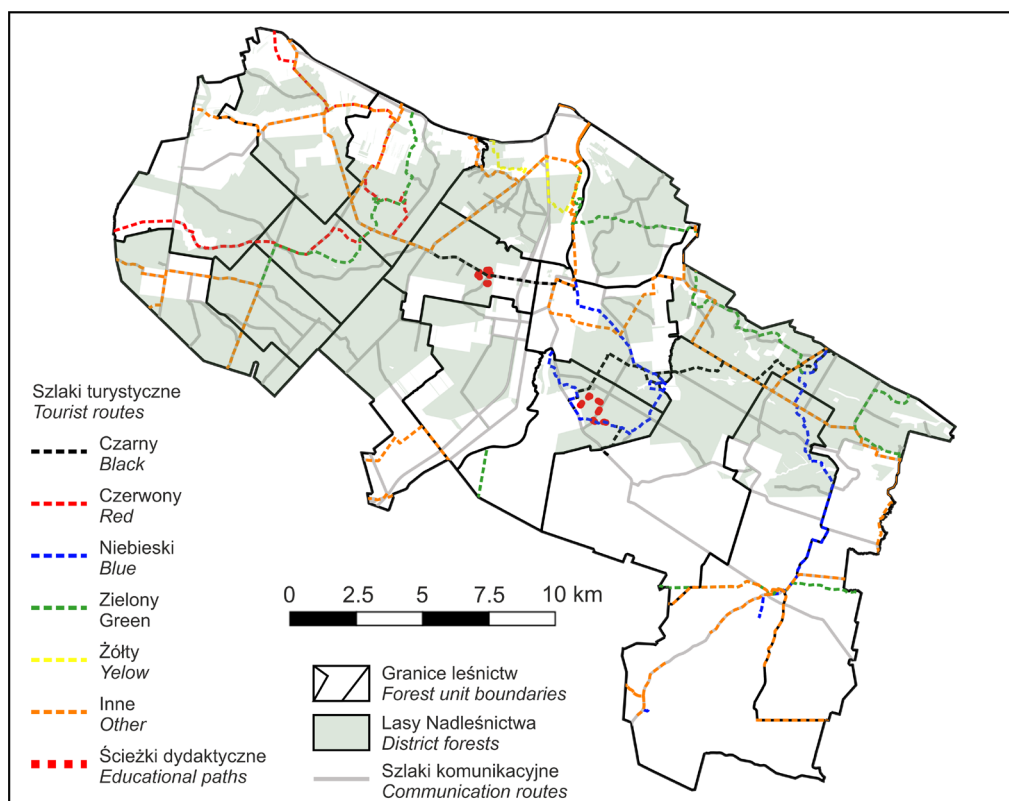
A – some of the best preserved traces of historical iron ore exploitation in the relief, with visible remains of smaller, older (probably exploration) (1) and larger, younger mining shafts (2) with partially visible elements of the narrow-gauge railway infrastructure (3) in the Kruk Forest unit; B – many traces of smaller (1) and larger (2) mining shafts of various ages, through which the main communication route in the Jastrzębia Forest unit; C – single pings (1) partially covered by a construction embankment (2) in the Stokowiec Forest unit; D – undocumented traces of former exploitation destroyed by agricultural (1) and construction (2) activities in the Stokowiec Forest unit

Sieć komunikacji drogowej na badanym terenie można podzielić na drogi leśne oraz publiczne (drogi gminne, krajowe, drogi szybkiego ruchu itp.). Na podstawie danych pozyskanych z Nadleśnictwa Suchedniów (stan na 27.12.2024) oraz elaboratu dróg leśnych (Kurys i in. 2018), ważniejsze szlaki komunikacyjne podzielono ze względu na typ nawierzchni (rys. 7):

- gruntowa (naturalna i ulepszona) (rys. 8A) – są to ważniejsze drogi gruntowe, nieulepszone i wzmocnione mechanicznie lub chemicznie (Czerniak 2013; Trzciński 2013) (ok. 77 km);
- twarda nieulepszona (rys. 8B) – reprezentuje drogi tłuczniowe, żwirowe i żuźlowe o dużej odporności na ograniczony ruch oraz wpływ warunków atmosferycznych (Czerniak 2013; Trzciński 2013) (ok. 30 km);

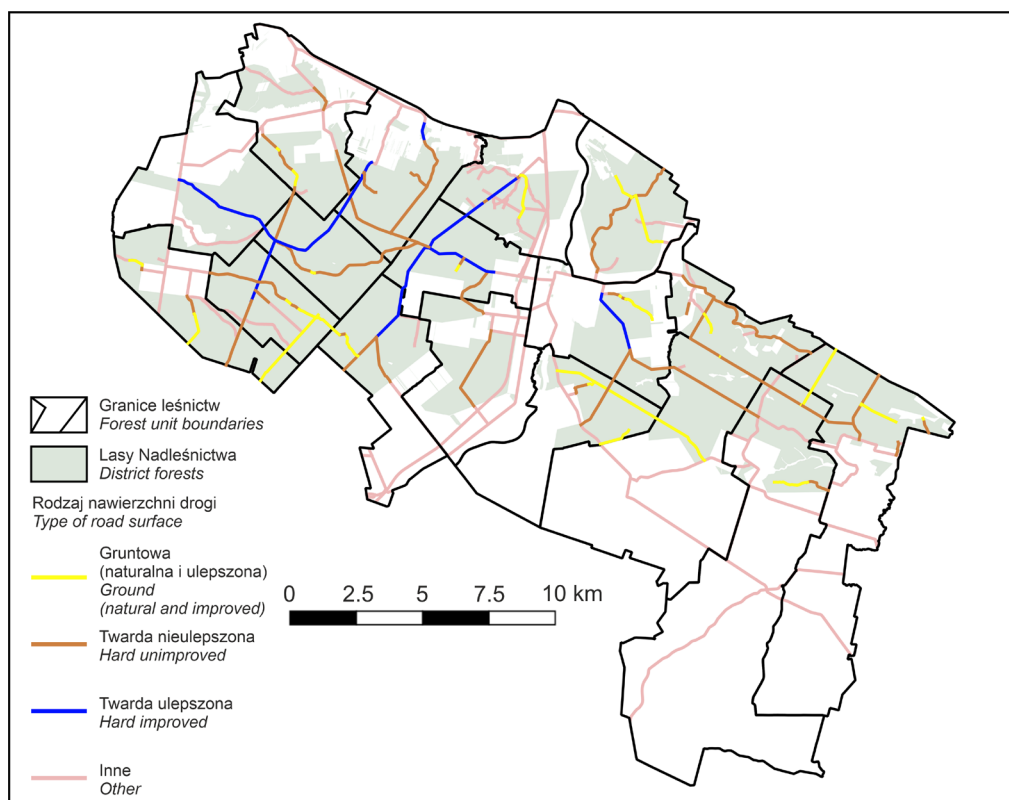
- twarda ulepszona (rys. 8C) – odzwierciedla drogi pokryte przeważnie asfaltem lub płytami betonowymi o najwyższej odporności (ok. 26 km) (Czerniak 2013; Trzciński 2013);
- inne drogi – są to pozostałe, ważniejsze drogi zaznaczone w granicach Nadleśnictwa Suchedniów. Brak jest informacji na temat ich nawierzchni (nie ujęte w dokumentacji) lub są to szlaki komunikacyjne, które nie podlegają pod Lasy Państwowe (drogi publiczne i prywatne).

W badaniach nie uwzględniono pomniejszych, liczniejszych dróg o nawierzchni gruntowej naturalnej i ograniczonej odporności na ruch oraz warunki atmosferyczne (Czerniak 2013). Są to przeważnie drogi wykorzystywane na potrzeby prowadzenia gospodarki leśnej.



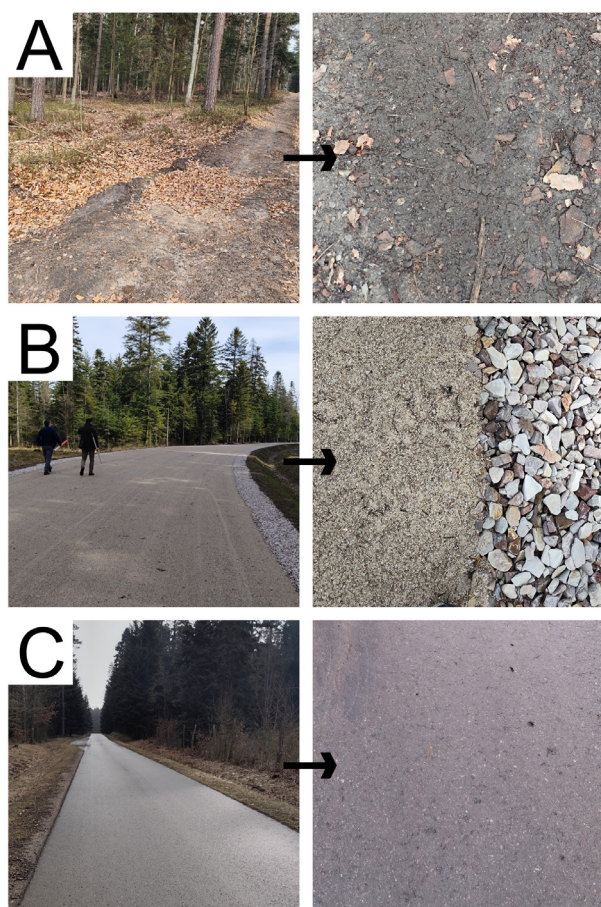
Rys. 6. Rozmieszczenie szlaków turystycznych na terenie Nadleśnictwa Suchedniów i poszczególnych leśnictw (objaśnienia na rys. 1)

Fig. 6. Location of tourist routes in the Suchedniów Forest District and forest units (explanations in Fig. 1)



Rys. 7. Główne szlaki drogowe i ich rodzaj na terenie Nadleśnictwa Suchedniów i poszczególnych leśnictw (objaśnienia na rys. 1)

Fig. 7. Main road routes and their types in the Suchedniów Forest District and forest units (explanations in Fig. 1)



Rys. 8. Podstawowe typy dróg leśnych na terenie Nadleśnictwa Suchedniów według typu nawierzchni: A – droga leśna o nawierzchni gruntowej na terenie Leśnictwa Osieczno (fot. Piotr Przepióra 2025), B – droga leśna o nawierzchni twardej nieulepszonej na terenie Leśnictwa Świnia Góra (fot. Piotr Przepióra 2025), C – droga leśna o nawierzchni twardej ulepszonej na terenie Leśnictwa Kruk (fot. Piotr Przepióra 2021)

Fig. 8. Basic types of forest roads in the Suchedniów Forest District by surface type: A – forest road with ground surface in the Osieczno Forest unit (photo by Piotr Przepióra 2025), B – forest road with hard unimproved surface in the Świnia Góra Forest unit (photo by Piotr Przepióra 2025), C – forest road with hard improved surface in the Kruk Forest unit (photo by Piotr Przepióra 2021)

6. Wyniki badań

Analizę potencjału geoedukacyjnego historycznych pól górniczych skupiono na środkowej i zachodniej części badanego obszaru, gdzie zabytki te są najliczniejsze, najlepiej zachowane i rozpoznane. Występują one na terenie pięciu leśnictw: Jastrzębia, Kruk, Odrowążek, Świnia Góra oraz Rejów (rys. 3, 5A, 5B). Pozostałe ślady poeksploatacyjne rozpoznane na terenie innych leśnictw mają mały potencjał geoedukacyjny i turystyczny. Spowodowane jest to ich dużym rozproszeniem w terenie, niewielkim obszarem występowania, słabym stanem zachowania oraz utrudnionym dostępem komunikacyjnym (rys. 5C, 5D). Najwyższy potencjał geoedukacyjny stanowią najlepiej zachowane różnowiekowe szyby górnicze oraz infrastruktura towarzysząca, np. pozostałości kolejki wąskotorowej (rys. 5A, 5B).

Nadleśnictwo Suchedniów posiada gęstą i bardzo dobrą jakość leśną sieć komunikacyjną. W zachodniej jego części znajduje się najwięcej dróg leśnych o nawierzchni odporniejszej na ograniczony ruch oraz warunki atmosferyczne (Czerniak 2013; Trzciniński 2013). Szczególnie charakterystyczne dla tej części obszaru są drogi leśne o najlepszej nawierzchni, przeważnie asfaltowej (twarda ulepszona) występujące w leśnictwach Jastrzębia, Kruk, Odrowążek, Osieczno, Świnia Góra, Rejów oraz Wilczy Bór. We wschodniej części występują niemal wyłącznie drogi gruntowe i twarde nieulepszone. Jedyna droga twarda ulepszona (rys. 7C) znajduje się w Leśnictwie Kleszczyny. Większość historycznych pól górniczych w zachodniej części obszaru zlokalizowana jest przy głównych leśnych szlakach komunikacyjnych, które stanowią drogi o nawierzchni twardej nieulepszonej i ulepszonej (rys. 8B, 8C).

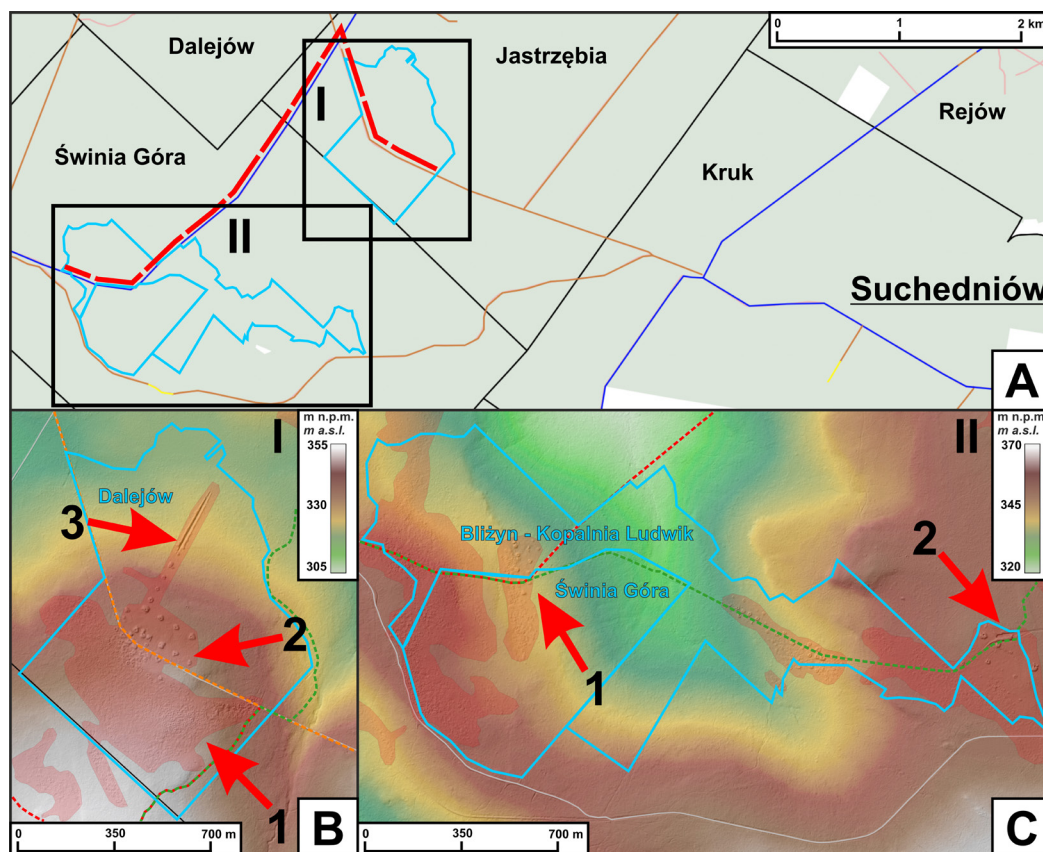
Na badanym obszarze występują liczne szlaki turystyczne, najczęściej w zachodniej, północnej oraz wschodniej części Nadleśnictwa, natomiast w południowej części jest ich najmniej (rys. 6). Większość z nich wykorzystuje również występujące na tym terenie główne drogi leśne. Są to przeważnie inne typy szlaków turystycznych, np. konne i rowerowe, które potrzebują dróg o lepszej nawierzchni.

Niemal cały teren Nadleśnictwa Suchedniów stanowią obszary chronione (<http://suchedniow.radom.lasy.gov.pl>). Lasy na zachodzie znajdują się w Suchedniowsko-Oblęgorzskim Parku Krajobrazowym (Świercz 2022), wschodnie zaś przynależą do Sieradowickiego Parku Krajobrazowego. Południowo-wschodnia część badanego obszaru znajduje się w granicach Świętokrzyskiego Parku Narodowego. Szczególne znaczenie mają rezerваты przyrody, tj. Świnia Góra, Dalejów i Bliżyn – Kopalnia Ludwik (rys. 9), które obejmują występujące w Leśnictwie Jastrzębia i Świnia Góra najlepiej zachowane zabytkowe pola górnicze (Starus 2022).

7. Dyskusja

W zachodniej części badanego obszaru występują najlepsze pod względem rodzaju nawierzchni drogi leśne. Są to drogi o nawierzchni twardej nieulepszonej i ulepszonej (rys. 7, 8B, 8C). Zapewniają one dobre połączenie z występującymi tu licznie historycznymi polami górniczymi. Drogi o nawierzchni twardej ulepszonej rozwidlają się na terenie Leśnictwa Kruk w kierunku m.in. północnym do Leśnictwa Rejów i zachodnim do Leśnictwa Jastrzębia oraz Świnia Góra. Drogi te prowadzą w pobliżu najlepiej zachowanych historycznych form poeksploatacyjnych (rys. 5A, 5B), gdzie również przebiegają liczne szlaki turystyczne (rys. 6).

Bardzo dobre połączenie drogowe mają Leśnictwo Jastrzębia i Świnia Góra (rys. 1), przez które przebiegają drogi o nawierzchni twardej nieulepszonej i ulepszonej (rys. 7, 8B, 8C). Umożliwia to pieszemu lub rowerzyście dotarcie do niemal każdego historycznego pola górniczego na tym terenie (rys. 3). Również główne szlaki turystyczne (czarny, czerwony i zielony) (rys. 6), biegnące przeważnie wzdłuż głównych dróg leśnych (rys. 7), ułatwiają dostęp do zabytkowych pól górniczych w tym regionie. Na terenie Leśnictwa Jastrzębia i Świnia Góra istnieją obecnie



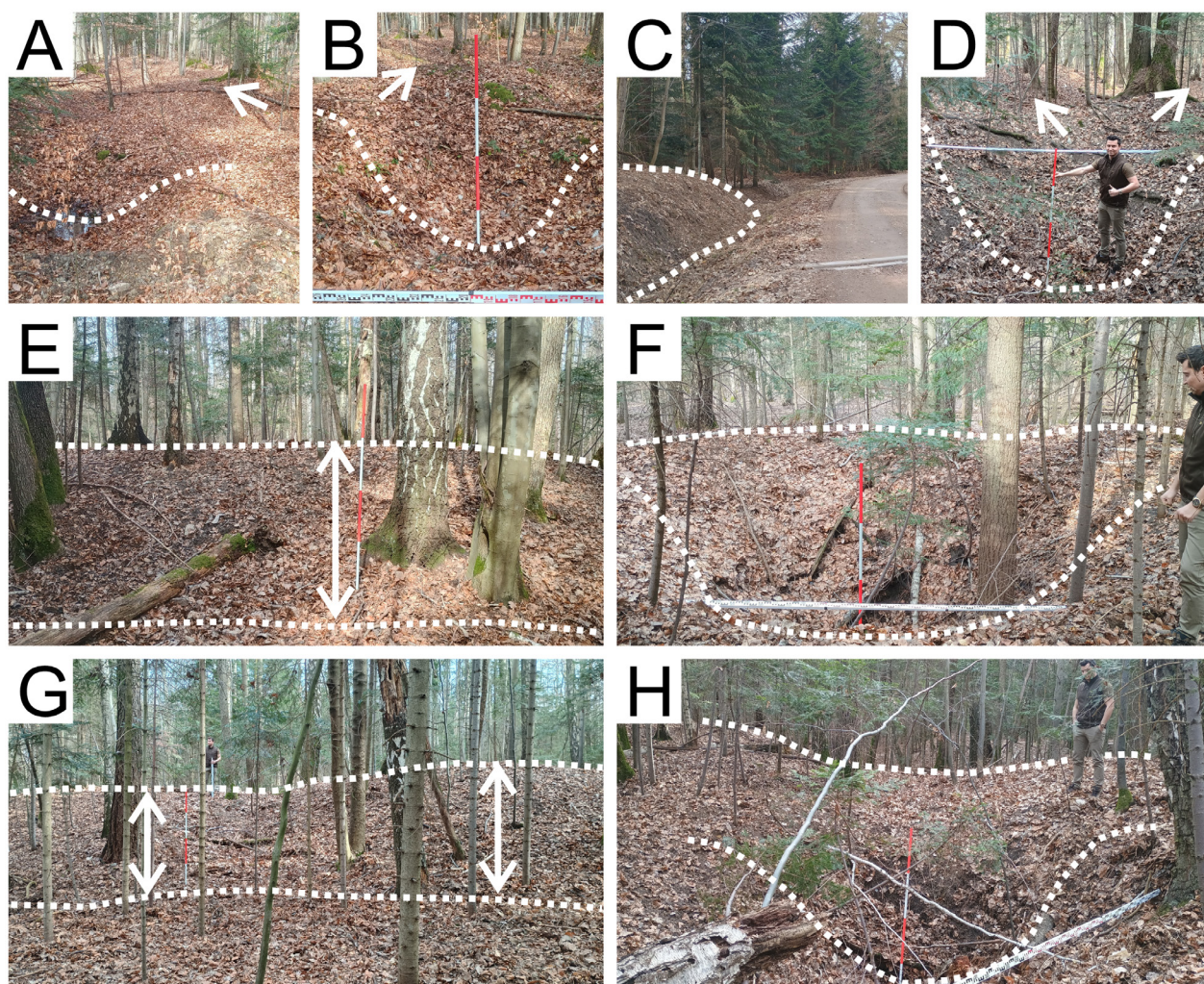
Rys. 9. Lokalizacja rezerwatów Dalejów (I), Bliżyn – Kopalnia Ludwik i Świnia Góra (II) na zachód od Suchedniowa na tle leśnej sieci drogowej (objaśnienia na rys. 6) wraz z przebiegiem proponowanej ścieżki geoedukacyjnej (przerywana, czerwona linia) (A) oraz na NMT (B, C) (<http://geoportal.gov.pl>) z oznaczonymi historycznymi polami górniczymi (I: 1 – starsze, poszukiwawcze lub eksploatacyjne szyby górnicze, 2 – młodsze szyby górnicze, 3 – pozostałości kanału do wywozu rudy, II: 1 – starsze poszukiwawcze lub eksploatacyjne szyby górnicze, 2 – młodsze szyby górnicze i rampa przeładunkowa) i szlakami turystycznymi (przerywane, kolorowe linie)

Fig. 9. Location of the Dalejów (I), Bliżyn – Kopalnia Ludwik and Świnia Góra (II) reserves west of Suchedniów at the background of the forest road network (explanations in Fig. 6) with the proposed geoeducational path location (dashed, red line) (A) and the DEM (B, C) (<http://geoportal.gov.pl>) with marked historical mining fields (I: 1 – older, exploration or exploitation mine shafts, 2 – younger mine shafts, 3 – ore transport channel remains, II: 1 – older exploration or exploitation mining shafts, 2 – younger mine shafts and loading ramp) and tourist routes (dashed, colored lines)

trzy rezerваты (Dalejów, Bliżyn – Kopalnia Ludwik i Świnia Góra) (rys. 9), w których granicach znajdują się zabytkowe historyczne pola górnicze (pingi i warpy), rampa przeładunkowa (Czernek 2022) i pozostałości kolejki wąskotorowej (Kozak 2020, 2022; Kozak, Sobczak 2022). Obszar rezerwatów oddalony jest ok. 2 km do 4 km od granic lasu (np. w kierunku Suchedniowa) (rys. 9A). Odległość rekompensuje bardzo dobre połączenie drogowe i wykorzystujące je szlaki turystyczne. Zapewnia to optymalną dostępność do najlepiej zachowanych zabytków historycznego górnictwa w tej części nadleśnictwa (rys. 10).

W granicach rezerwatów Dalejów, Bliżyn – Kopalnia Ludwik i Świnia Góra, występują najlepiej zachowane pozostałości różnowiekowego górnictwa rud żelaza w Lasach Suchedniowskich. Rezerваты zapewniają również dodatkową ochronę zabytków poeksploatacyjnych. Wyraźny jest jednak brak infrastruktury turystycznej i informacyjnej na temat występujących tu pozostałości górniczych. Poza jedną ścieżką dydaktyczną w Leśnictwie Kruk, która skupia się wyłącznie na aspektach przyrodni-

czych i środowiskowych (rys. 6), aktualnie nie stworzono żadnej, która byłaby poświęcona historycznemu górnictwu. Duży potencjał geoedukacyjny tego miejsca zachęca do stworzenia nowej ścieżki dydaktycznej, która przebiegałaby kolejno przez rezerwat Dalejów, Bliżyn – Kopalnia Ludwik i Świnia Góra korzystającej z dróg o nawierzchni twardej ulepszonej i nieulepszonej (rys. 9). Drogi te poprowadzone są bardzo blisko różnowiekowych pól górniczych, starszych (prawdopodobnie średniowiecznych) na terenie rezerwatów Bliżyn – Kopalnia Ludwik i Świnia Góra (rys. 10A, 10B) oraz młodszych (nowożytnych) w rezerwacie Dalejów (rys. 10C-H). Droga przebiegająca przez Rezerwat Dalejów dodatkowo przecina historyczne pole górnicze, odsłaniając kilka nowożytnych warp (rys. 10C). Z drogi nadal jest doskonale widoczny krajobraz pogórnicy, a w szczególności kilkanaście nienaruszonych przez roboty drogowe pozostałości historycznych szybów górniczych (rys. 10E-H). W przeciwieństwie do tych starszych, nowożytny są znacznie większe i lepiej zachowane w rzeźbie. Wysokie warpy (1,5–3,0 m) ze znajdującymi się



Rys. 10. Krajobraz pogórnicy zachowany na terenie Nadleśnictwa Suchedniów. Mniejsze pingi (formę terenu wskazują przerywane linie oraz strzałki – dalsze obiekty w panoramie) prawdopodobnie po średniowiecznych szybach poszukiwawczych lub eksploatacyjnych na terenie Rezerwatu Świnia Góra (A, B) oraz znacznie większe formy poeksploatacyjne składające się z pingów (D, F, H) i warp (C, E, G) (formę terenu wskazują przerywane linie rozdzielone strzałkami, kolejne strzałki wskazują dalsze obiekty w panoramie) będącymi pozostałościami prawdopodobnie młodszych, nowożytnych szybów kopalnianych na terenie Rezerwatu Dalejów (fot. Paweł Przepióra 2025)

Fig. 10. Post-mining landscape preserved in the Suchedniów Forest District. Smaller pings (landforms indicated by dashed lines and arrows further objects in the panorama) probable after exploration or exploitation medieval shafts in the Świnia Góra Reserve (A, B) and much larger post-mining forms consisting of pings (D, F, H) and warps (C, E, G) (landforms indicated by dashed lines separated by arrows, additional arrows indicate further objects in the panorama) which are probably the remains of younger, modern mine shafts in the Dalejów Reserve (photo by Paweł Przepióra 2025)

pośrodku głębokimi pingami (1,0–2,0 m) wyraźnie odróżnia te formy na tle otaczającego terenu. Zwiększa to znacząco ich atrakcyjność turystyczną i geoedukacyjną dla zwiedzających. W tym miejscu należałoby ustawić szereg tablic informacyjno-edukacyjnych uzupełnionych o przewodnik (np. Król i in. 2011) lub QR kody przekierowujące do szczegółowych opisów stanowisk. Proponowana ścieżka geoedukacyjna dotyczyłaby historii eksploatacji rud żelaza w Lasach Suchedniowskich, przedstawiałaby warunki geologiczne i geomorfologiczne oraz ich znaczenie dla powstania tu krajobrazu pogórnicy.

Duży potencjał geoedukacyjny sugeruje rozważenie ewentualnej reorganizacji części istniejących tras turystycznych w celu optymalnego ich przebiegu w pobliżu historycznego krajobrazu pogórnicy. Potencjał lokalnych

zabytków o tematyce górnictwa (Kalicki i in. 2018) oraz hutnictwa (Przepióra i in. 2019a) sugeruje rozważenie ewentualnego włączenia ich do Świętokrzyskiego Szlaku Zabytków Techniki lub Archeo-Geologicznego oraz wpisanie do rejestru zabytków. Zapewni to dodatkową ochronę i możliwości pozyskiwania środków na ich utrzymanie oraz promocję.

Przykładem wykorzystania potencjału geoedukacyjnego prehistorycznego oraz historycznego górnictwa i hutnictwa na terenie województwa świętokrzyskiego jest np. Muzeum Starożytnego Hutnictwa Świętokrzyskiego w Nowej Słupi, Muzealna Izba Górnictwa Kruszcowego na Miedziance oraz ścieżka geoedukacyjna „W dolinie Świśliny”. Tematyka górnictwa i hutnictwa stanowi popularny element geoedukacyjny, co można zaobserwo-

wać na przykładzie innych regionów Polski (np. Podziemny Olkusz) i na świecie (np. Le Musée du Fer koło Saint-Hubert w Belgii).

Istotne są dotychczasowe działania Lasów Państwowych, które zapewniają równowagę pomiędzy utrzymaniem dostępności Lasów Suchedniowskich a ochroną przyrody, podnosząc potencjał geoedukacyjny okolicznych historycznych pól górniczych. Tworzenie nowych rezerwatów przyrody (w szczególności ścisłych) (np. <https://www.lasy.gov.pl/pl/informacje/aktualnosci/trzy-nowe-rezerwaty-w-nadleśnictwie-suchedniow-2013-propozycja-rdip-w-radomiu>) może jednak przyczynić się do ograniczenia dostępności okolicznych lasów dla zwiedzających i zmniejszenia potencjału geoedukacyjnego znajdującego się tu historycznego krajobrazu pogórniczego.

8. Wnioski

Obszar Nadleśnictwa Suchedniów ma duży potencjał geoedukacyjny ukierunkowany na tematykę historycznego górnictwa i hutnictwa rud żelaza. W środkowej i zachodniej części badanego obszaru, wśród gęstych lasów występują liczne, różnowiekowe historyczne szyby górnicze, stanowiące charakterystyczny dla tego regionu krajobraz pogórnicy. Jako część dziedzictwa kulturowego regionu świętokrzyskiego stanowiły one podstawę do powołania na terenie Nadleśnictwa Suchedniów rezerwatów przyrody, które objęły swoimi granicami część pozostałości dawnej eksploatacji rud żelaza.

Dotychczasowe zagospodarowanie badanego obszaru w celach geoedukacyjnych i geoturystycznych nie wykorzystuje w pełni potencjału, jaki oferują lasy Puszczy Świętokrzyskiej. Doskonale rozbudowana infrastruktura drogowa Lasów Państwowych ułatwia dostęp do wielu zabytków. Stanowi to kluczowy element w ewentualnym wytyczeniu kolejnych szlaków turystycznych i ścieżek dydaktycznych.

Największy potencjał dla rozbudowy produktu geoedukacyjnego oraz geoturystycznego mają obecnie trzy rezerwaty (Świnia Góra, Dalejów i Bliżyn – Kopalnia Ludwik), na których terenie występują najlepiej zachowane historyczne pozostałości infrastruktury górniczej. Prowadzą tu drogi o bardzo dobrym typie nawierzchni oraz ważniejsze szlaki turystyczne, które zwiększają dostępność tych obiektów dla zwiedzających.

Wytyczenie ścieżek geoedukacyjnych przez tereny leśne o najlepszej dostępności komunikacyjnej ograniczy również inwestycje, które stanowiłyby zbędną ingerencję w środowisko naturalne Puszczy Świętokrzyskiej. Działania można ograniczyć wówczas do opracowania przewodników i tablic informacyjnych w wyznaczonych miejscach przy drogach wiodących przez najlepiej zachowane w okolicy historyczne pola górnicze.

Tematyka dawnego górnictwa i hutnictwa jest wykorzystywana jako produkt geoedukacyjny i geoturystyczny w innych regionach Polski i świata. Wskazuje to na duże zainteresowanie miejscami o charakterze górniczo-hutniczym, a lasy Nadleśnictwa Suchedniów mają duży poten-

cjał, by wzbogacić geoedukacyjne zaplecze regionu świętokrzyskiego (np. Świętokrzyski Szlak Zabytków Techniki i Świętokrzyski Szlak Archeo-Geologiczny). Zapewniłoby to również dodatkową ochronę prawną i konserwatorską wybranych zabytków, które stanowiłyby nowy, wartościowy produkt geoedukacyjny regionu świętokrzyskiego.

Podziękowania

Autorzy tekstu kierują serdecznie podziękowania Panu dr. hab. Tomaszowi Kalickiemu, prof. UJK za konsultacje naukowe i pomoc merytoryczną w przygotowaniu niniejszego artykułu. Szczególne podziękowania kierowane są również do Pana Nadleśniczego Jacka Olesia (Nadleśnictwo Suchedniów) za udostępnienie okolicznych lasów w celach badawczych. Również słowa podziękowania autorzy kierują do Anny Wojkowskiej-Klasy i Sebastiana Dawidowicza za udostępnienie materiałów niezbędnych do przygotowania niniejszego opracowania oraz do Kamila Olesińskiego za pomoc w pracach terenowych.

9. Literatura

- Adamczyk A., Staśkowiak A., Rzuchowski P., Sowa R. 2010. Rezerwat Przyrody Świnia Góra im. dr. inż. Stanisława Barańskiego. PiS Agencja Wydawniczo-Poligraficzna, Bliżyn.
- Agricola G. 1556. De re metallica libri XII. Bazylea.
- Barański S. 1970. Dzieje „lasów górniczych” w okolicach Bliżyna, Samsonowa, Suchedniowa i Zagnańska w Górach Świętokrzyskich do pierwszej połowy XIX w. Prace Muzeum Ziemi 15, cz. I: 223–240.
- Bielenin K. 1992. Starożytne górnictwo i hutnictwo żelaza w Górach Świętokrzyskich. Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.
- Brambert P., Przepióra P., Piasta S. 2018. Znaczenie Suchedniowa jako ośrodka przemysłowego województwa świętokrzyskiego w czasach historycznych i współcześnie, [w:] Medyński M. (red.). Zeszyty Suchedniowskie – Historia 3/2018. Stowarzyszenie Grupa Inicjatywna „Pod Prąd”, Suchedniów: 87–104.
- Cabaj W., Kruczek Z. 2010. Podstawy geografii turystycznej. Wyd. III zaktualizowane. Proksenia, Kraków.
- Chrzanowski W. 1859. Karta dawnej Polski 1:300 000, arkusz Radom, Paryż.
- Czernek D. 2022. Archeologia, [w:] Świercz A. (red.). Monografia Suchedniowsko-Oblęgorskiego Parku Krajobrazowego. Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Zespół Świętokrzyskich i Nadnidziańskich Parków Krajobrazowych, Kielce: 509–520.
- Czernek A. (red.). 2013. Wytyczne prowadzenia robót drogowych w lasach. Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe, Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu.
- Fijałkowska-Mader A., Szadkowska K. (red.). 2021. Atrakcje turystyczne gminy Kunów. Przewodnik po ścieżce geoedukacyjnej „Dolina Świśliny”. Stowarzyszenie Witulin nad Świśliną, PiG-PIB, Kielce.
- Fitas P. 2017. Nadleśnictwo Suchedniów. Historia, charakterystyka i baza selekcyjno-nasienna, [w:] Staśkowiak A., Kardys P., Białek W., Sowa R. (red.). Piękne, Rzadkie i Chronione, część VI. Skarżyskie Zeszyty Ligi Ochrony Przyrody 15, Skarżysko-Kamienna: 204–221.
- Fularczyk K., Kalicki T., Kusztal P. 2020. Historical and contemporary transformations of the hydrographic confluence at Sielpia. Folia Quaternaria 88, Kraków: 41–62. <https://doi.org/10.4467/21995923FQ.20.003.13192>
- Heliasz Z., Ostaficzuk S. 2020. Historical residues of iron ore mining in environs of the Holy Cross Mountains (the Góry Świętokrzyskie) are recognizable on the Digital Terrain Elevation Model (DEM) derived from the LIDAR data. Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management 36 (4): 161–186. <https://doi.org/10.24425/gsm.2020.133946>
- Jach B., Rutkiewicz P. 2024. Hałdy po górnictwie rudnym i fosforytowym w krajobrazie Gór Świętokrzyskich. Przegląd Geologiczny 71(11): 576–586.

- Janeczek Ł. 2018. Rozwój Suchedniowa w dobie rozbudowy Staropolskiego Okręgu Przemysłowego w pierwszej połowie XIX wieku, [w:] Medyński M. (red.). Zeszyty Suchedniowskie – Historia 3/2018. Stowarzyszenie Grupa Inicjatywna „Pod Prąd”, Suchedniów: 33–43.
- Janiec J., Kardyś P. 2020. Historyczne kopalnie rud żelaza na terenie Skarżyska-Kamiennej, [w:] Staśkowiak A., Miller M. (red.). Piękne, Rzadkie i Chronione, część IX. Skarżyskie Zeszyty Ligi Ochrony Przyrody 18, Skarżysko-Kamienna: 68–86.
- Jankowski M. 2017a. Kuźnice nad Kamionką i Żarnówką. Suchedniowski akcent w rozwoju Staropolskiego Zagłębia Przemysłowego, [w:] Medyński M. (red.). Zeszyty Suchedniowskie – Historia 2/2017. Stowarzyszenie Grupa Inicjatywna „Pod Prąd”, Suchedniów: 11–28.
- Jankowski M. 2017b. Obraz Klucza Suchedniowskiego w świetle inwentarza i ilustracji z lat 1788–1790. Rocznik Oddziału PTH w Skarżysku-Kamiennej, Z dziejów regionu i miasta 8/2017: 35–59.
- Kalicki T., Przepióra P., Aksamit M., Frączek M., Kłusakiewicz E., Grzeszczyk P. 2019. Forming and disappearance of small retention system in the postindustrial area – case study from the central section of the Kamionka river valley (Central Poland) since the 18th century. *Acta Geobalkanica* 5–1: 29–34. <https://doi.org/10.18509/AGB.2019.04>
- Kalicki T., Przepióra P., Fularczyk K. 2022a. Rzeźba i osady rejonu Suchedniowa i doliny Krasnej, [w:] Świercz A. (red.). Monografia Suchedniowsko-Oblęgorskiego Parku Krajobrazowego. Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Zespół Świętokrzyskich i Nadnidziańskich Parków Krajobrazowych, Kielce: 80–95.
- Kalicki T., Przepióra P., Frączek M., Kuształ P. 2018. Potencjał geoarcheologiczny Suchedniowsko-Oblęgorskiego Parku Krajobrazowego (województwo świętokrzyskie, Polska południowo-wschodnia). Streszczenia referatów i posterów „Archeologia obszarów leśnych – The Archaeology of Woodlands”, 19–21.04.2018, Białowieża–Białystok: 1–64.
- Kalicki T., Przepióra P., Jabłoński M., Frączek M., Podrzycki Ł. 2022b. Zróżnicowanie litologiczne i wiek kemów koło Suchedniowa (Wyżyna Kielecka). *Acta Universitatis Lodzensis. Folia Geographica Physica* 21: 21–34. <https://doi.org/10.18778/1427-9711.21.02>
- Kapturek K. 2014. Podziemne górnictwo rud żelaza w rejonie Ostrowca Świętokrzyskiego i inwentaryzacja relikwów dawnych robót górniczych. *Hereditas Minariorum* 1: 131–144.
- Koba J. 2023. Bliżyn-Kopalnia Ludwik – nowy rezerwat przyrody w regionie świętokrzyskim, [w:] Staśkowiak A., Kardyś P., Pandya E., Sowa R. (red.). Piękne, Rzadkie i Chronione, część XI. Skarżyskie Zeszyty Ligi Ochrony Przyrody 20, Skarżysko-Kamienna: 104–108.
- Kołońska E. 2019. Materialne zachowki pamięci walk niepodległościowych z XIX wieku w krajobrazie miasta i gminy Suchedniów, [w:] Medyński M. (red.). Zeszyty Suchedniowskie – Historia 4/2019. Stowarzyszenie Grupa Inicjatywna „Pod Prąd”, Suchedniów: 100–106.
- Kondracki J. 1977. Regiony fizycznogeograficzne Polski. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Kondracki J. 2002. Geografia regionalna Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kozak B. 2020. Konne koleje wąskotorowe na terenie Suchedniowa i okolic, [w:] Medyński M. (red.). Zeszyty Suchedniowskie – Historia 5/2020. Stowarzyszenie Grupa Inicjatywna „Pod Prąd”, Suchedniów: 181–194.
- Kozak B. 2022. Koleje wąskotorowe o trakcji mechanicznej na terenie Suchedniowa i okolic, [w:] Medyński M. (red.). Zeszyty Suchedniowskie – Historia 7/2022. Stowarzyszenie Grupa Inicjatywna „Pod Prąd”, Suchedniów: 147–163.
- Kozak B., Sobczak A. 2022. Starotorze zagnañskiej kolei wąskotorowej na terenie Suchedniowsko-Oblęgorskiego Parku Krajobrazowego jako obszar wtórnej sukcesji przyrodniczej, [w:] Staśkowiak A., Kardyś P., Białek W., Miller M., Sowa R. (red.). Piękne, Rzadkie i Chronione, część X. Skarżyskie Zeszyty Ligi Ochrony Przyrody 19, Skarżysko-Kamienna: 80–101.
- Kozak B., Fijałkowska-Mader A., Rutkiewicz P. 2025. Historia eksploatacji rud żelaza w północnym skrzydle synkliny daleszyckiej (Góry Świętokrzyskie). *Przegląd Geologiczny* 73(1): 98–106. <http://dx.doi.org/10.7306/2025.9>
- Król B., Urban J., Garus R. 2011. Zabytki górnictwa i hutnictwa Staropolskiego Okręgu Przemysłowego w dolinie Górnej Bobrzy: przewodnik po obszarze Lokalnej Grupy Działania „Dorzecze Bobrzy”. Wydawnictwo Agencja JP s.c., Kielce.
- Kurys C., Kopczyński M., Dziedzin A. 2018. Projekt docelowej sieci drogowej nadleśnictwa. Nadleśnictwo Suchedniów RDLP w Radomiu. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Oddział w Radomiu, Radom.
- Kuształ P., Pabian G., Kalicki T., Nowak E., Przepióra P. 2020. Zróżnicowanie i zmiany rzeźby terenu historycznego pola górniczego na Osicowej Górze k. Stąporkowa (NW obrzeżenie Gór Świętokrzyskich). *Przegląd Geologiczny* 68(2): 127–134. <http://dx.doi.org/10.7306/2020.5>
- Ludwikowska-Kędzia M., Wiatrak M. 2013. Atrakcyjność geoturystyczna doliny górnej Łagowicy. Propozycja trasy geoturystycznej. Instytut Geografii UJK w Kielcach. Kielce: 1–112.
- Łabęcki H. 1841. Górnictwo w Polsce. Opis kopalnictwa i hutnictwa polskiego pod względem technicznym, historyczno-statystycznym i prawnym, T. I. Warszawa.
- Medyński M., Zamela K. 2019. Suchedniów – Monografia historyczna miasta i gminy. Suchedniów.
- Orzechowski S. 2007. Zaplecze osadnicze i podstawy surowcowe starożytnego hutnictwa świętokrzyskiego. Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.
- Orzechowski S. 2013. Region żelaza: centra hutnicze kultury przeworskiej. Wydawnictwo Uniwersytetu Jana Kochanowskiego, Kielce.
- Osiński J. 1782. Opisanie Polskich Żelaza Fabryk, W Którym świadectwa Historyków wzmiankujących miejsca Mineratów przytoczone; Przywileje nadane szukającym Kruszców w całości umieszczone; Początek wyrabiania u nas żelaza odkryty; Rudy Kraiowej czterdzieści ośm gatunków w kolorach właściwych wydane i w szczególności wyłożone; Piecie i Dymarki w całym Królestwie znajdujące się wyliczone; Z żelaza Kraiowy zysk okazany. Słownik Kuzniacki, oprócz wyrazów Technicznych, wiele wiadomości zawierający przydany, Warszawa.
- Pajdo A. 2017. Lustracja klucza suchedniowskiego z 1789 roku, [w:] Medyński M. (red.). Zeszyty Suchedniowskie – Historia 2/2017. Stowarzyszenie Grupa Inicjatywna „Pod Prąd”, Suchedniów: 105–204.
- Piasta S. 2012. Leksykon Suchedniowa. Kielce.
- Pierścińska A., Piwowarski B. 2017. Rośliny z Lasów Suchedniowskich w Ogrodzie Botanicznym w Kielcach, [w:] Staśkowiak A., Kardyś P., Białek W., Sowa R. (red.). Piękne, Rzadkie i Chronione, część VI. Skarżyskie Zeszyty Ligi Ochrony Przyrody 15, Skarżysko-Kamienna: 222–227.
- Przepióra P. 2021. Subatlantyckie przemiany zlewni Kamionki na Wyżynie Kieleckiej, [w:] Kalicki T. (red.). Monografie: Geografia i Geoarcheologia, Tom I. Ośrodek Badań Europy Środkowo-Wschodniej, Kielce–Białystok.
- Przepióra P., Frączek M., Brambert P., Piasta S. 2019a. Potencjał turystyczny dawnych obiektów przemysłowych na przykładzie Suchedniowa (województwo świętokrzyskie). *Zeszyty Naukowe Turystyka i Rekreacja* 23(1): 75–91.
- Przepióra P., Kalicki T., Chwałek S., Houbrechts G. 2019b. Historyczny układ hydrotechniczny w Jędrowie (województwo świętokrzyskie) zachowany w formach i osadach – studium geoarcheologiczno-konserwatorskie. *Acta Universitatis Lodzensis. Folia Geographica Physica* 18: 5–16. <http://dx.doi.org/10.18778/1427-9711.18.01>
- Przepióra P., Król G., Frączek M., Kalicki T., Kłusakiewicz E. 2017. Lokalizacja i interpretacja osadów po pożarach lasów – studium przypadku. *Acta Universitatis Lodzensis. Folia Geographica Physica* 16: 43–49. <https://dx.doi.org/10.18778/1427-9711.16.05>

- Przepióra P., Kalicki T., Nowak E., Kusztal K., Houbrechts G., Pabian G., Peeters A. 2021. Historical mining remains preserved in the present-day relief of the European Hercynian Mountains – Case studies from Holy Cross Mountains (Poland) and Ardennes (Belgium). *Acta Geobalcanica* 7 (3): 109–115. <https://doi.org/10.18509/AGB.2021.15>
- Przychodni A. 2002. Ośrodek starożytnej metalurgii żelaza nad Nidą, [w:] Orzechowski S. (red.). *Hutnictwo świętokrzyskie oraz inne centra i ośrodki starożytnego hutnictwa żelaza na ziemiach polskich. Świętokrzyskie Stowarzyszenie Dziedzictwa Przemysłowego w Kielcach*, Kielce: 45–60.
- Przychodni A. 2006. Starożytne hutnictwo nad Nidą, jako potencjalna enklawa świętokrzyskiego centrum dymarskiego, [w:] Orzechowski S., Suliga I. (red.). *50 lat badań nad starożytnym hutnictwem świętokrzyskim. Archeologia–Metalurgia–Edukacja*, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 103–123.
- Radwan M.W. 1963. *Rudy, kuźnie i huty żelaza w Polsce*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Richling A., Solon J., Macias A., Balon J., Borzyszkowski J., Kistowski M. (red.). 2021. *Regionalna Geografia Fizyczna Polski*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Rozmus D. 2014. Wczesnośredniowieczne zagłębienie hutnictwa srebra i ołowiu na obszarach obecnego pogranicza Śląska i Małopolski (druga połowa XI–XII/XIII wiek). *Księgarnia Akademicka*.
- Rozmus D. 2023. Górnictwo i hutnictwo w odległej przeszłości. *Magazyn Polskiej Akademii Nauk* 2/74/2023: 49–53. <https://doi.org/10.24425/academiaPAN.2023.147006>
- 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., Krąż P., Lechnio J., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papińska E., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziaja W. 2018. Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geographia Polonica* 91 (2): 143–170. <http://dx.doi.org/10.7163/GPol.0115>
- Starus J. 2022. *Formy ochrony Przyrody*, [w:] Świercz A. (red.). *Monografia Suchedniowsko-Oblęgorskiego Parku Krajobrazowego*. Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Zespół Świętokrzyskich i Nadnidziańskich Parków Krajobrazowych, Kielce: 369–400.
- Szczepański J. 2018. Suchedniów i jego znaczenie w dziejach polskiego przemysłu, [w:] Medyński M. (red.). *Zeszyty Suchedniowskie – Historia* 3/2018. Stowarzyszenie Grupa Inicjatywna „Pod Prąd”, Suchedniów: 11–14.
- Szpunar K. 2018. Rozwój górnictwa i hutnictwa w dobrach biskupów krakowskich na przykładzie XVIII-wiecznego Suchedniowa, [w:] Medyński M. (red.). *Zeszyty Suchedniowskie – Historia* 3/2018. Stowarzyszenie Grupa Inicjatywna „Pod Prąd”, Suchedniów: 56–66.
- Świercz A. (red.). 2022. *Monografia Suchedniowsko-Oblęgorskiego Parku Krajobrazowego*. Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Zespół Świętokrzyskich i Nadnidziańskich Parków Krajobrazowych, Kielce.
- Trzciniński G. 2013. Funkcjonowanie dróg leśnych na styku z drogami publicznymi, [w:] *Funkcjonowanie i zarządzanie siecią drogową dróg leśnych zgodnie z wytycznymi obowiązującymi w PGL LP (materiały szkoleniowe)*, Jedlnia Letnisko.
- Urban J. 2015. *Skałki piaskowcowe w Rejowie oczami geologa*, [w:] Staśkowiak A., Kardyś P., Białek W., Sowa R. (red.). *Piękne, Rzadkie i Chronione, część V. Skarżyskie Zeszyty Ligi Ochrony Przyrody* 14, Skarżysko-Kamienna: 42–54.
- Urban J. 2017. „Piekło Dalejowskie” oczami geologa, [w:] Staśkowiak A., Kardyś P., Białek W., Sowa R. (red.). *Piękne, Rzadkie i Chronione, część VI. Skarżyskie Zeszyty Ligi Ochrony Przyrody* 15, Skarżysko-Kamienna: 73–88.
- Waga J.M., Szypuła B., Sendobry K., Fajer M. 2022. Ślady działalności człowieka na terenach leśnych Parku Krajobrazowego „Cysterskie Kompozycje Krajobrazowe Rud Wielkich” odczytane z obrazów LiDAR oraz ich znaczenie w ochronie dziedzictwa kulturowego i przyrodniczego. *Czasopismo Geograficzne* 93 (1): 107–138. <https://doi.org/10.12657/czageo-93-05>
- Warszyńska J., Jackowski A. 1978. *Podstawy geografii turystyki*. PWN, Warszawa.
- Zajadacz A. 2014. Dostępność przestrzeni turystycznej w ujęciu geograficznym. *Turyzm/Tourism* 24 (1): 49–55. <https://doi.org/10.18778/0867-5856.24.1.05>
- Zielony R., Kliczkowska A. 2012. *Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski 2010*. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- Zubek K., Czerwik-Marcinkowska J., Borkowski A. 2022. A Non-Invasive Method of Estimating Populations of *Tomicus Piniperda* on Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.). *Insects* 13: 1071. <https://doi.org/10.3390/insects13111071>
- <http://bdl.lasy.gov.pl> [9.03.2025].
- <http://geoportal.gov.pl> [9.03.2025].
- <http://suchedniow.radom.lasy.gov.pl> [9.03.2025].
- <https://geoserwis.gdos.gov.pl> [9.03.2025].
- <https://lasy.gov.pl/pl/informacje/aktualnosci/trzy-nowe-rezerwaty-w-nadlesnictwie-suchedniow-2013-propozycja-rdlp-w-radomiu> [9.03.2025].
- <https://zabytek.pl/pl> [9.03.2025].

Aleksandra Kołodziejczak¹ • Marta Kowalczyk¹ • Laura Ludwiczak¹ • Arkadiusz Warczyński¹
Jacek Forysiak² ⁽¹⁾ Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Studenckie Koło Naukowe Geomonitoringu⁽²⁾ Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Katedra Geologii i GeomorfologiiE-mail: aleksandra.kolodziejczak@edu.uni.lodz.pl; jacek.forysiak@geo.uni.lodz.pl

Charakterystyka morfologiczno-hydrologiczna Bzury w Lesie Łągiwnickim i ocena stanu jej naturalności

Hydromorphological characteristics of the Bzura River in the Las Łągiwnicki and assessment of its naturalness

Zarys treści

W artykule przedstawiono wyniki oceny hydromorfologicznej fragmentu koryta górnej Bzury w obszarze Lasu Łągiwnickiego. Syntetyczne wskaźniki hydromorfologiczne wskazują na umiarkowanie dobry stan naturalności koryta. Dno koryta zbudowane jest z osadów piaszczystych, z domieszkami materiału organicznego. Parametry fizykochemiczne osadów dennych pozwalają potwierdzić nieznaczny stopień eutrofizacji koryta. Prace wykonano w celu zweryfikowania dobrego stanu zachowania tego odcinka rzeki przebiegającej przez teren leśny, w stosunku do sąsiednich, silniej przekształconych w wyniku działalności antropogenicznej.

Słowa kluczowe

Metoda RHS, osady rzeczne, przekształcenia koryta rzecznego, Wzniesienia Łódzkie.

Abstract

The article presents the results of the hydromorphological studies of a section of the upper Bzura river in the Las Łągiwnicki area. Synthetic hydromorphological coefficients indicate a moderately good state of the river channel naturalness. The bottom of the river channel is composed of sandy deposits with admixtures of organic material. Physicochemical parameters of the bottom deposits allow us to confirm a slight degree of eutrophication of the riverbed. The fieldwork was carried out in order to verify the good state of preservation of this section of the river running through the forest area, in relation to the neighbouring, more heavily transformed ones as a result of human activity.

Keywords

River Habitat Survey (RHS) method, fluvial deposits, transformation of the river channel, the Łódź Hills.

1. Wprowadzenie

Doliny rzeczne i koryta rzek przeszły w ostatnich stuleciach bardzo poważne zmiany hydrologiczne i morfologiczne wywołane działaniami antropogenicznymi. Przekształceniom podlegały duże doliny rzeczne, gdzie stosunki wodne zmodyfikowano w celu prowadzenia gospodarki rolnej czy zabudowy i rozwoju związanej z nią infrastruktury. Niewielkie formy dolinne i płynące nimi ciekі, poza wymienionymi wcześniej celami, przebudowywano także na potrzeby pozyskiwania energii wody płynącej, budowę zbiorników retencyjnych czy rekreacyjnych.

Do analizy wybrany został fragment doliny i koryta rzeki Bzura, leżący w zasięgu miasta Łodzi, ale odcinku przebiegającym przez kompleks leśny Lasu Łągiwnickiego, co powoduje, że jego morfologia jest inna niż na przyległych fragmentach doliny. Obszar północnej części Łodzi stosunkowo późno podlegał osadnictwu i zagospodarowaniu rolniczemu, w porównaniu z północnym czy

zachodnim otoczeniem Łodzi (Dylik 1971). Także procesy urbanizacyjne, przebiegające gwałtownie w XIX wieku nie objęły tej części terytorium miasta. Uznano wobec tego, że w obszarze Lasu Łągiwnickiego mogły zachować się fragmenty koryta o stosunkowo małym przekształceniu antropogenicznym.

Analizę warunków środowiska przyrodniczego wybranego odcinka oparto o materiały kartograficzne, dostępne obrazy hipsometryczne, a także wykonane w terenie pomiary, obserwacje, pobrane próbki materiału geologicznego i fotografie. Podstawą oceny stanu koryta rzecznego są obserwacje wykonane metodą oceny hydromorfologicznej (*River Habitat Survey* – RHS). Metoda ta jest narzędziem o szerokim zastosowaniu badawczym, które dostarcza cennych danych nie tylko do monitorowania stanu ekologicznego rzek, ale także do prowadzenia różnorodnych badań naukowych (Szozkiewicz i in. 2009). Zdecydowano się na tę metodykę ze względu na jej precyzję, powtarzalność, łatwość wdrożenia oraz stosunkowo niski



Original article; Received: 17.02.2025; Revised: 3.03.2025; Accepted: 26.05.2025

© by the author, licensee University of Lodz – Lodz University Press, Lodz, Poland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license CC BY-NC-ND 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)**Funding information:** Not applicable. **Conflicts of interests:** None. **Ethical considerations:** The Author assures of no violations of publication ethics and takes full responsibility for the content of the publication.

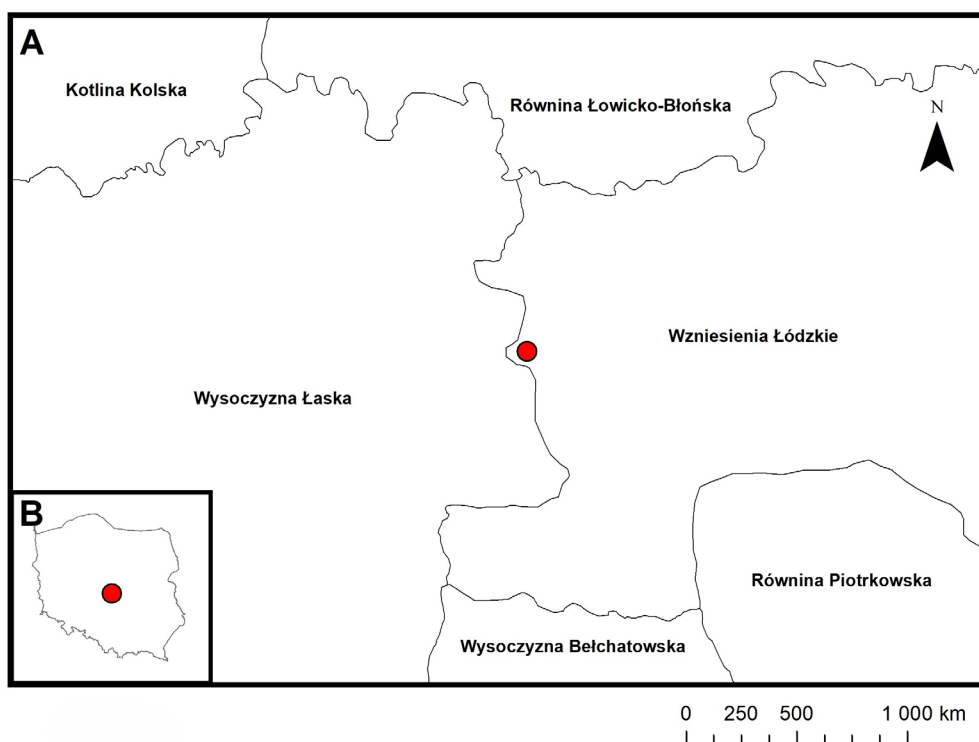
koszt. Wyniki badań uzyskane tą metodą przyjmują formę syntetycznych wskaźników liczbowych, co umożliwia klasyfikację cieków i ich efektywny monitoring. Metoda RHS, rozwinięta w Wielkiej Brytanii w latach 90. XX wieku, jest jedną z najbardziej rozpowszechnionych w Europie (Szoszkiewicz i in. 2009). Stosuje się ją m.in. w Niemczech, Szwecji, Danii, Czechach i na Łotwie, a także w zmodyfikowanej wersji we Włoszech, Grecji i Portugalii. W Polsce metoda ta funkcjonuje od połowy lat 90. i objęła już badaniem blisko 1000 odcinków rzek. Wyniki dowodzą, że metoda RHS jest skuteczna w badaniu różnorodnych typów rzek w Polsce, co czyni ją uniwersalnym narzędziem w ocenie i monitoringu ich stanu ekologicznego (Szoszkiewicz i in. 2009).

2. Położenie i cechy obszaru badań

Bzura to rzeka nizinna, jest lewym dopływem Wisły o długości 166 km. W górnym odcinku przepływa przez makroregion Wzniesień Południowomazowieckich i mezoregion Wzniesień Łódzkich, następnie przez obszar Równiny Łowicko-Błońskiej (rys. 1). Górna Bzura, stanowiąca hydrograficzną oś północnej części Łodzi, wypływa z terenu Lasu Łągiewnickiego w postaci dwóch cieków, łączących się na pograniczu Łodzi i Zgierza. Południowe ramię Bzury (Czerńca) ma długość w granicach Łodzi ok. 6 km, zaś ramię północno-wschodnie (Łągiewniczanka) około 3,6 km. Badaniem objęty został fragment południowego ramienia (rys. 2). Jego odcinek źródłowy położony jest na wysokości

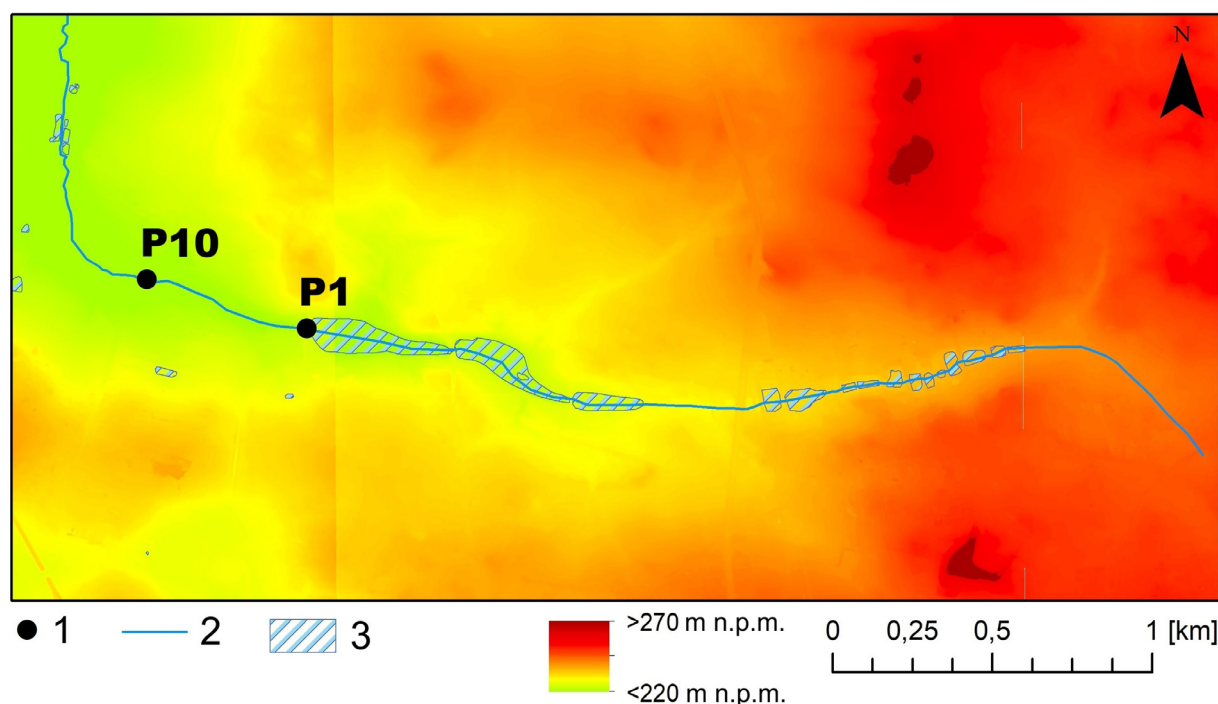
około 235 m n.p.m. w owalnym obniżeniu w rejonie ulicy Strykowskiej, zbudowanym z piasków i żwirów wodnolodowcowych (Trzmiel, Nowacki 1985), mając postać dwóch ramion źródłowych. Wykształcone koryto występuje od przepustu drogowego pod ul. Strykowską, jednak stały przepływ pojawia się poniżej ul. Boruty. Zasila stawy pomiędzy ulicami Boruty i Wycieczkową, dalej Bzura kieruje się ku zachodowi, na tym odcinku utworzono zbiorniki wodne Arturówek, płynie wąską, wyraźnie wciętą doliną. Następnie zmieniając kierunek na północny i przyjmuje wody Łągiewniczanki, a jej dolina staje się już wyraźnie szersza. Na przeważającej długości opisanego biegu rzeka została przekształcona w kanał. Współcześnie udział wód naturalnych w rzece jest niewielki, w Zgierzu wynosi 6,2%, resztę stanowią zrzuty ścieków komunalnych i przemysłowych. Jednak na całej omawianym odcinku rzeki, zgodnie z perspektywnym planem zagospodarowania, skład jej wód powinien spełniać kryteria III klasy czystości. Rzeczyniwa jakość jednak odbiega od planowanej i we wszystkich punktach kontrolnych zlokalizowanych w Zgierzu i poniżej nie odpowiada normie żadnej klasy.

Dokumentacji poddano odcinek Bzury przebiegający poniżej tamy zbiornika zachodniego w Arturówku, do mostu na ulicy Łągiewnickiej (rys. 2). Ma on długość około 500 m, a koryto rzeki przebiegając od profilu P1 w kierunku zachodnim (rys. 2), obniża się od wysokości około 208,5 m n.p.m. do około 205 m n.p.m., do profilu P10 położonego w rejonie mostu na ulicy Łągiewnickiej.



Rys. 1. Położenie badanego terenu. Obszar badań na tle mezoregionów geograficznych (mapa A), obszar badań na tle obszaru Polski (mapa B) – oznaczono czerwoną kropką

Fig. 1. Location of the study area. Study area against the background of geographical mesoregions (map A), study area against the background of Poland (map B) – indicated by a red dot



Rys. 2. Hipsometria terenu w sąsiedztwie badanego odcinka Bzury (Numeryczny Model Terenu na podstawie www.geoportal.gov.pl); 1 – profile badawcze, 2 – koryto rzeki, 3 – zbiorniki wodne

Fig. 2. Hypsometry of the area in the vicinity of the studied section of the Bzura River (Digital Terrain Model based on www.geoportal.gov.pl); 1 – studied profiles, 2 – river channel, 3 – water reservoirs

Utwory powierzchniowe obszaru otaczającego górny odcinek rzeki Bzury są zróżnicowane, powstały w czwartorzędzie, w wyniku działalności lądolodów oraz późniejszych procesów rzecznych, stokowych i eolicznych (rys. 3.2). Opisywany teren był po raz ostatni pokryty lądolodem podczas zlodowacenia warty (zlodowacenia środkowopolskie), w wyniku jego działalności powstał powierzchniowy pokład gliny zwałowej (Trzmiel, Nowacki 1985; Klatkova i in. 1995; Turkowska 2006; Rdzany 2009). W czasie jego wycofywania się złożone zostały piaski i żwiry wodnolodowcowe i ukształtowane najważniejsze formy polodowcowe obszaru, jak ciągi wzgórz i rozdzielające je obniżenia (Rdzany 2009). W zimnym okresie wistulianu utworzone zostały osady stokowe i rzeczne w dolinie Bzury (Trzmiel, Nowacki 1985; Klatkova i in. 1995). W holoceenie na obszarze górnego odcinka Bzury akumulowane były osady, które są wynikiem działalności rzecznych procesów erozyjnych i akumulacyjnych (rys. 3), ale ich miąższość jest niewielka. W obrębie dna doliny występują holocenijskie namuły oraz piaski rzeczne den dolinnych (Trzmiel, Nowacki 1985).

Obszar Wzniesień Łódzkich, wykorzystywany przez górny odcinek Bzury, ukształtowany jest przez procesy geomorfologiczne związane z działalnością lodowca oraz erozją rzeczna tworząc interesujący krajobraz, w którym dominują formy morenowe oraz formy wodnolodowcowe, takie jak sandry czy kemy (rys. 3.3). W obrazie geomorfologicznym terenu bardzo dobrze zaznacza się wąskie dno doliny (od kilku do kilkunastu metrów) oraz otaczające je stoki, jak i nieciągłe strefy teras. Koryto rzeki jest również

wąskie (do 2 m), a stoki dość strome. W tym odcinku rzeka nie ma jeszcze wykształconej sieci cieków, dopiero w rejonie Łagiewnik Nowych, gdzie znajduje się połączenie z doliną Łagiewniczanki, wspomnianym już drugim ramieniem górnej Bzury, zarysowuje się terasa nadzalewowa doliny.

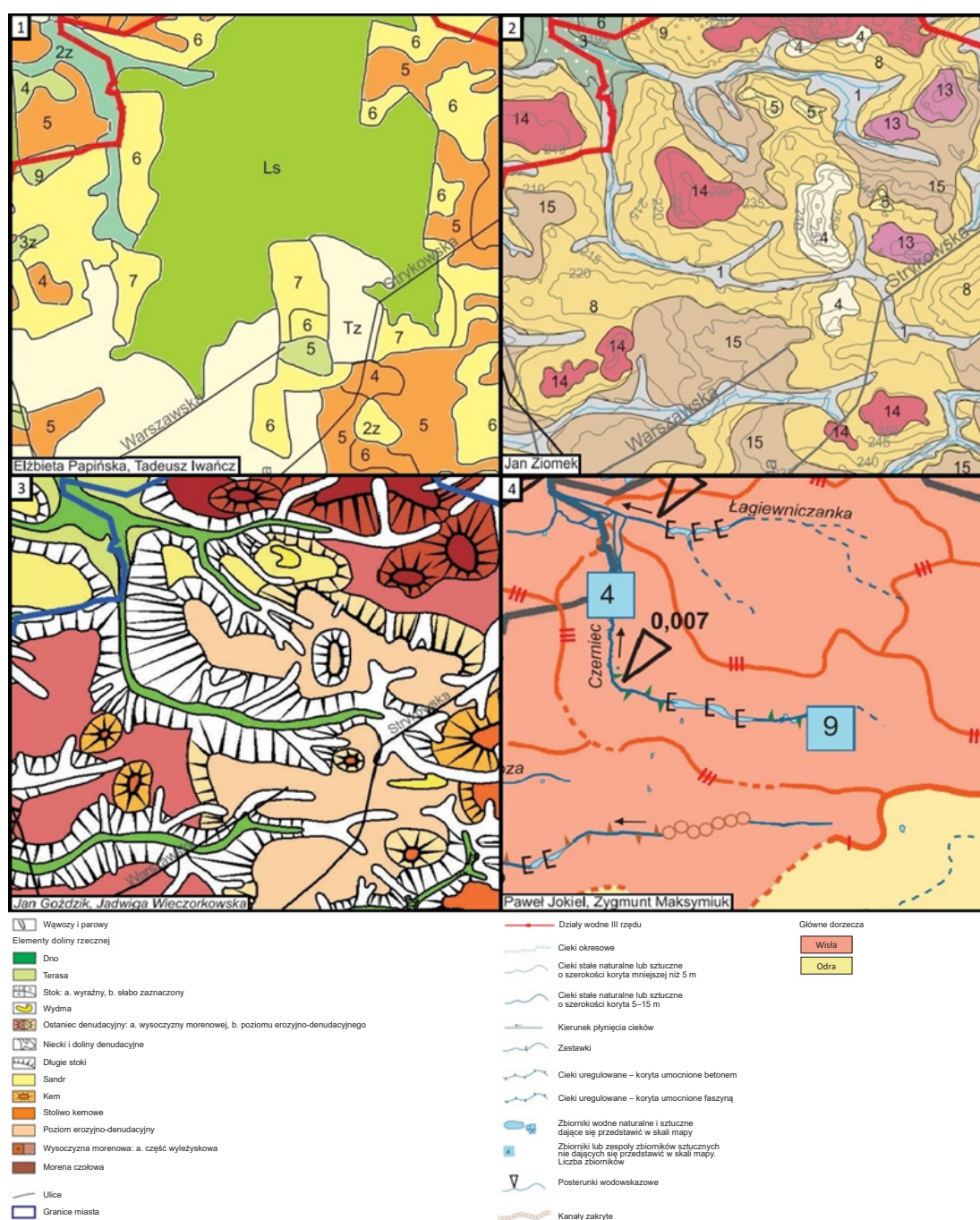
Cechy krajobrazowe obszaru dobrze obrazują geokompleksy, rozumiane jako jednostki przestrzenne, które odzwierciedlają określone układy glebowe i ich właściwości, a kompleksy przydatności rolniczej określają potencjał gleby do prowadzenia różnorodnych prac rolniczych. W centralnej części obszaru dominuje kompleks leśny (rys. 3.1). Jest on otoczony geokompleksami litogenicznymi związanymi z utworami trudnoprzepuszczalnymi, przepuszczalnymi oraz geokompleksami hydrogenicznymi. Przydatność rolnicza gleb, występująca w geokompleksach litogenicznych, to kompleks żytnej dobry, słaby oraz bardzo słaby. Geokompleksy hydrogeniczne zawierają użytki zielone średnie, słabe i bardzo słabe. Od południowej strony rozciągają się tereny zabudowane.

3. Metody badań

Metoda hydromorfologicznej oceny koryta rzecznego (RHS)

Badania przeprowadzono w dniu 3 czerwca 2024 roku na górnym odcinku rzeki Bzury przy niskim stanie wody, zgodnie z metodyką zawartą w podręczniku (Szczepanowicz i in. 2009).

Badania zostały przeprowadzone na 500-metrowym odcinku badawczym, gdzie wyznaczono 10 profili



Rys. 3. Mapy elementów środowiska geograficznego badanego odcinka Bzury i jego najbliższego otoczenia (Goździk, Wieczorkowska 2002; Jokiel, Maksymiuk 2002; Ziomek i in. 2002). 1 – Mapa geokompleksów i kompleksów przydatności rolniczej gleby (E. Papińska, T. Iwańcz), 2 – Mapa utworów powierzchniowych (J. Ziomek), 3 – Mapa geomorfologiczna (J. Goździk, J. Wieczorkowska), 4 – Mapa wód powierzchniowych (P. Jokiel, Z. Maksymiuk);
 Objaśnienia do mapy 1: 4 – kompleks żyrny bardzo dobry, 5 – kompleks żyrny dobry, 6 – kompleks żyrny słaby, 7 – kompleks żyrny bardzo słaby, 9 – kompleks zbożowo-pastewny słaby, 2z – użytki zielone średnie, 3z – użytki zielone słabe i bardzo słabe, Tz – tereny zabudowane, Ls – lasy;
 Objaśnienia do mapy 2: 1 – namuły den dolinnych i zagłębień bezodpływowych, 3 – piaski rzeczne den dolinnych i zagłębień bezodpływowych, 4 – piaski eoliczne, 5 – piaski eoliczne w wydmach, 6 – piaski, żwir i mułki rzeczne terasów nadzalewowych 1–2 m n.p.rz., 8 – piaski wodnolodowcowe, 9 – piaski wodnolodowcowe na glinach zwałowych, 13 – piaski i żwir, miejscami gliny zwałowe moren czołowych, 14 – piaski i żwir, miejscami gliny zwałowe, mułki i ility w morenach z wycięcia i spiętrzenia, 15 – gliny zwałowe

Fig. 3. Maps of geographical environment elements of the studied section of the Bzura River and its immediate surroundings (Goździk, Wieczorkowska 2002; Jokiel, Maksymiuk 2002; Ziomek *et al.* 2002). 1 – Geo-complexes and soil agricultural suitability complexes map (E. Papińska, T. Iwańcz), 2 – Surface deposits map (J. Ziomek), 3 – Geomorphological map (J. Goździk, J. Wieczorkowska), 4 – Surface water map (P. Jokiel, Z. Maksymiuk);
 Explanations for Map 1: 4 – very good rye complex, 5 – good rye complex, 6 – poor rye complex, 7 – very poor rye complex, 9 – poor cereal-fodder complex, 2z – medium-quality grasslands, 3z – poor and very poor grasslands, Tz – built-up areas, Ls – forests;
 Explanations for Map 2: 1 – silts of valley bottoms and closed depressions, 3 – fluvial sands of valley bottoms and closed depressions, 4 – aeolian sands, 5 – aeolian sands in dunes, 6 – fluvial sands, gravels, and silts of floodplain terraces 1–2 m above river level, 8 – glaciofluvial sands, 9 – glaciofluvial sands on top of glacial tills, 13 – sands and gravels, locally glacial tills of terminal moraines, 14 – sands and gravels, locally glacial tills, silts, and clays in squeeze and thrust moraines, 15 – glacial tills

kontrolnych rozmieszczonych co 50 m. Metoda RHS pozwoliła na szczegółową analizę cech morfologicznych koryta i brzegów, uwzględniając parametry fizyczne, takie jak dominujący typ przepływów, rodzaj substratu dna i brzegów, przekształcenia techniczne oraz struktura roślinności wodnej i brzegowej. Dane zostały uporządkowane w tabelach roboczych, zgodnie z instrukcją zawartą w podręczniku, a kluczowe parametry zawarto w tabeli 1.

Na podstawie uzyskanych wyników oceny hydromorfologicznej oraz obserwacji koryta Bzury i dna doliny wykonano obliczenia syntetycznych wskaźników hydromorfologicznych (Szostkiewicz i in. 2009). Są to:

- wskaźnik naturalności siedliska (HQA), który opisuje różnorodność naturalnych elementów morfologicznych koryta rzeki. Jego wartość pozwala na ocenę stopnia zachowania naturalnych cech hydromorfologicznych cieków, takich jak urozmaicenie dna, brzegów czy obecność elementów sprzyjających różnorodności biologicznej;
- wskaźnik przekształcenia siedliska (HMS), charakteryzujący stopień wpływu działań człowieka na hydromorfologię rzeki. Uwzględnia on m.in. techniczne umocnienia koryta i brzegów oraz inne ingerencje, które mogą zakłócać naturalne funkcjonowanie rzeki;
- polski wskaźnik przekształcenia siedliska (PIHM), który stanowi adaptację wskaźnika HMS do specyficznych warunków polskich. Dzięki uwzględnieniu lokalnych uwarunkowań, takich jak typy rzek czy charakterystyczne dla Polski formy przekształceń, wskaźnik ten zapewnia precyzyjniejszą ocenę wpływu działalności człowieka na rzeki w Polsce.

Parametry fizykochemiczne

Z dna koryta rzeki w profilach obserwacyjnych pobrane zostały próbki osadów dennych, które opisano analogicznie jak profile (od P1 do P10, ale nie pobrano próbki w profilach P3 i P8). Wykonane zostały dla nich oznaczenia: odczynu, konduktywności i zawartości materii organicznej. Pomiar odczynu wykonano przy użyciu pH-metru elektronicznego (Myślińska 2010), natomiast konduktywności przy użyciu konduktometru. Pobrany materiał zalano wodą destylowaną, a następnie odstawiono na 24 godziny. Po upływie tego czasu dokonano pomiarów obu parametrów w zawiesinie. Pomiar dla każdej z próbek przeprowadzono dwukrotnie, a następnie obliczono średnią arytmetyczną z obu pomiarów. Oznaczenie zawartości materii organicznej wykonano przy użyciu metody wyprężania w piecu muflowym, w temperaturze 550°C (Myślińska 2010), obliczając procentowy udział straty wagi próbki podczas prażenia.

Uziarnienie osadów

Odłożoną część pobranych próbek osadów dennych poddano analizie sitowej, po wstępnym przygotowaniu i wysuszeniu materiału (Myślińska 2010). Masa próbek zawierała się w przedziale 30–70 g. Próbkę przesypało do zestawu sit ułożonych w kolejności malejących rozmiarów oczek (sita o wymiarach oczek kolejno 5,0 mm, 2,0 mm, 1,6 mm, 1,0 mm, 0,8 mm, 0,63 mm, 0,5 mm, 0,4 mm, 0,315 mm, 0,25 mm, 0,2 mm, 0,16 mm, 0,125 mm, 0,1 mm, 0,071 mm oraz 0,005 mm), które zostały umieszczone na wytrząsarce laboratoryjnej (Fritsch Analysette), na czas 10 minut. Ważenie pozostałego na każdym z sit materiału wykonano na wadze elektronicznej z dokładnością do 0,01 g. Na podstawie wykonanej analizy wyliczono wskaźniki uziarnienia, takie jak: średnia średnica, odchylenie standardowe i skośność.

Tabela 1. Wyniki wybranych obserwacji koryta Bzury metodą RHS

Table 1. Results of selected observations of the Bzura River channel using the RHS method

Nr profilu	Materiał brzegu	Modyfikacje brzegu	Materiał dna	Typ przepływu	Modyfikacje dna koryta	Użytkowanie terenu w pasie 5 m od brzegu	Struktura roślinności szczytu i stoku brzegu	Typy roślinności w korycie	Sztuczne elementy	Pobrane próbki
P1	żwir i piasek	rozdeptany brzeg	kamienie i piasek	wartki	budowla poprzeczna, śmieci	las liściasty	prosta	brak	przepust i ostrogi	–
P2		brak	piasek	wartki	brak				brak	–
P3		rozdeptany brzeg		gładki					brak	–
P4		brak		wartki					brak	–
P5		rozdeptany brzeg		gładki					przeprawy	–
P6		brak		wartki					–	–
P7		rozdeptany brzeg		gładki			złożona	mchy i wątrobowce	ostrogi	–
P8		brak		wartki			prosta	brak	brak	–
P9		rozdeptany brzeg		wartki			złożona	mchy i wątrobowce	brak	–
P10		brak		wartki			prosta	brak	brak	–

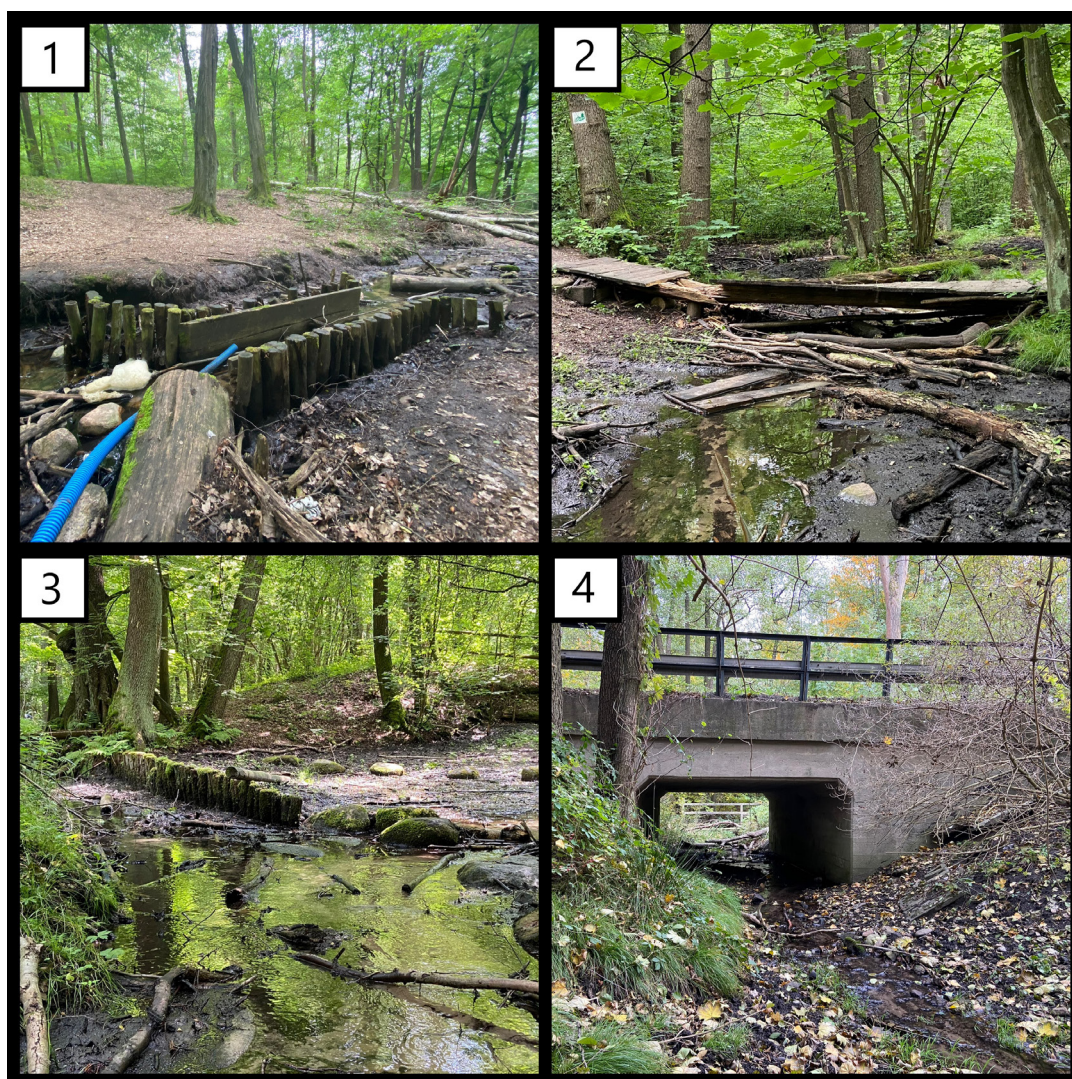
4. Charakterystyka morfologiczno-litologiczna koryta Bzury

Wyniki hydromorfologicznej oceny (RHS) badanego odcinka rzeki

Badania terenowe przeprowadzono w dniu 3 czerwca 2024 roku na prawym brzegu rzeki Bzury. Pomiarów wykonano w dziesięciu wyznaczonych punktach pomiarowych (P1: N 51°49'24,7" E 19°27'59,5", zaś P10: N 51°49'28,9" E 19°27'41"). Szczegółowe informacje dotyczące zebranych danych podczas badań znajdują się w tabeli 1. Na całej badanej długości rzeki dno koryta i jego brzegi zbudowane są z materiału piaszczystego z udziałem żwiru, struktura roślinności na brzegu i w korycie jest generalnie prosta, nieliczne są miejsca występowania zanieczyszczeń, na obserwowanym odcinku stwierdzono trzy obiekty hydrotechniczne (tab. 1; rys. 4, 5).

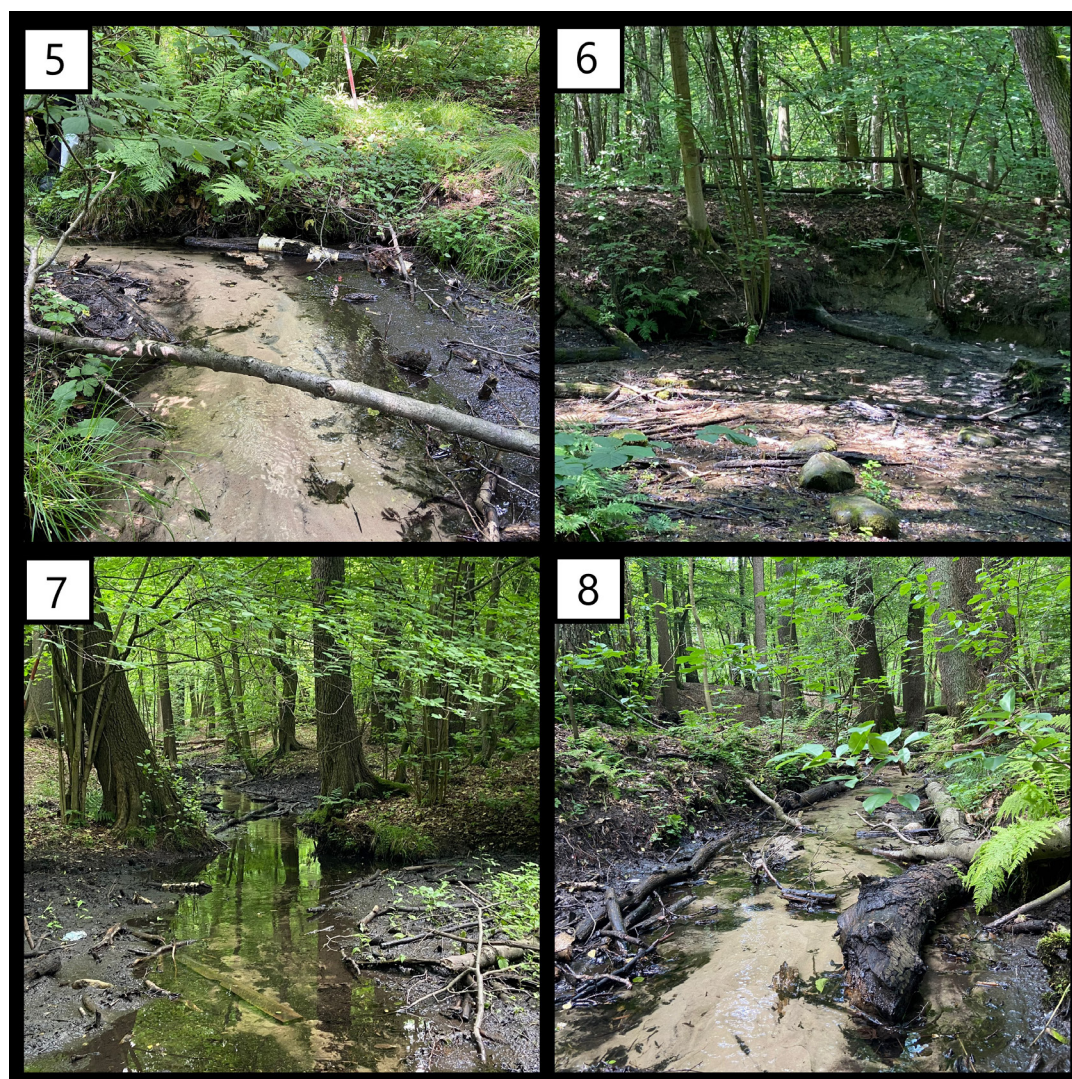
Na podstawie przeprowadzonych obserwacji terenowych obliczono trzy syntetyczne wskaźniki hydromorfologiczne. Wskaźnik naturalności siedliska (HQA) uwzględnia parametry koryta i dna doliny, wskazujące zachowanie jego naturalności, które zebrano w tabeli 2. Teoretycznie wskaźnik ten może przyjmować wartości w przedziale od 0 do 136, jednak w polskich rzekach zwykle wynosi od 15 do 80. Zsumowana wartość częściowych punktów z wszystkich kategorii dla badanego odcinka Bzury wynosi 59, co oznacza dobry stan zachowania naturalnego charakteru badanego odcinka Bzury (Gromiec 2004; Szożkiewicz i in. 2009), wskazując na dużą ilość i znaczne zróżnicowanie naturalnych elementów morfologicznych w korycie i w otoczeniu cieku.

Wskaźnik przekształcenia siedliska (HMS) pozwala na określenie stopnia zmian morfologii koryta i jego warunków siedliskowych, zaś jego modyfikacją do postaci



Rys. 4. Zestawienie zdjęć elementów zabudowy koryta na badanym odcinku Bzury; Fot. 1 – ostrogi na rzece przy profilu P1; Fot. 2 – przeprawa w sąsiedztwie profilu P5; Fot. 3 – ostrogi na rzece w sąsiedztwie P7; Fot. 4 – most na ulicy Łagiewnickiej na zachód od profilu P10

Fig. 4. Compilation of photos of channel infrastructure elements in the studied section of the Bzura River; Photo 1 – groynes on the river at profile P1; Photo 2 – crossing near profile P5; Photo 3 – groynes on the river near profile P7; Photo 4 – bridge on Łagiewnicka Street west of profile P10



Rys. 5. Zestawienie zdjęć naturalnych elementów koryta Bzury; Fot. 5 – meander rzeki przy profilu P7; Fot. 6 – niszka źródłiskowa pomiędzy profilami P6 i P7; Fot. 7 – koryto rzeki w sąsiedztwie profilu P3; Fot. 8 – powalone drzewa w korycie rzeki w rejonie profilu P5

Fig. 5. Compilation of photos of natural elements of the Bzura River; Photo 5 – river meander at profile P7; Photo 6 – spring niche between profiles P6 and P7; Photo 7 – river channel near profile P3; Photo 8 – fallen trees in the river channel in the area of profile P5

polskiego wskaźnika przekształcenia siedliska (PIHM) jest bardziej czuła na stan koryt polskich rzek (Szozskiewicz i in. 2009). Wartości przypisane do badanego odcinka rzeki stanowią sumę wartości cząstkowych kategorii ujętych w tabeli 3. Wskaźniki te charakteryzuje sumaryczny stopień antropogenicznych zmian w hydromorfologii rzek, ponieważ biorą pod uwagę wszystkie formy przekształceń. Wskaźniki te uwzględniają zarówno przekształcenia zarejestrowane w profilach kontrolnych, jak i podczas oceny syntetycznej. Niskie wartości wskaźników (12 pkt-HMS oraz 10 pkt-PIHM) wskazują na nieznaczne przekształcenia hydromorfologii cieku, pozwalając określić go jako umiarkowanie zmodyfikowany (Gromiec 2004; Szozskiewicz i in. 2009).

Parametry fizykochemiczne osadów

Odczyn wszystkich zbadanych próbek jest lekko kwaśny (tab. 4). Średnie wartości wahają się od 5,61 do 6,78. Najwyższą wartość reprezentują profile P4 i P5, a najniższe P6 i P10. Ostatni punkt jest położony w sąsiedztwie ul. Łągiewnickiej. Konduktywność badanych próbek jest niewielka. Waha się ona od 68,4 do 291,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Najniższe wartości występują w profilach P2, P6 i P9, a najwyższa wartość w P7. W lokalizacji ostatniego wymienionego profilu znajdują się umocnienia brzegu rzeki w postaci pali, przy których gromadzą się płynące rzeką fragmenty gałęzi i liście. Podwyższona wartość konduktywności może wskazywać na większy dopływ do koryta wody gruntowej, z większym udziałem jonów lub zanieczyszczeń antropogenicznych. Jednak generalnie wartości obu parametrów sugerują raczej brak silnego zanieczyszczenia wody w rzece.

Tabela 2. Składniki cząstkowe wskaźnika naturalnego siedliska (HQA)**Table 2.** Partial components of the Habitat Quality Assessment (HQA)

Typy przepływu	5
Materiał dna koryta	4
Naturalne elementy morfologiczne koryta	5
Naturalne elementy morfologiczne brzegu prawego	4
Naturalne elementy morfologiczne brzegu lewego	4
Struktura roślinności brzegu prawego	10
Struktura roślinności brzegu lewego	10
Odsypy meandrowe	1
Grupy roślin wodnych	1
Użytkowanie terenu w pasie 50 m od szczytu brzegu lewego	2
Użytkowanie terenu w pasie 50 m od szczytu brzegu prawego	2
Zadrzewienie brzegu lewego	3
Zadrzewienie brzegu prawego	3
Elementy morfologiczne towarzyszące drzewom	5
Wynik ogólny	59

Tabela 3. Składniki cząstkowe wskaźnika przekształcenia siedliska (HMS) i polskiego wskaźnika przekształcenia siedliska (PIHM)**Table 3.** Partial components of the Habitat Modification Score (HMS) and the Polish Habitat Modification Index (PIHM)

Przekształcenia zaobserwowane w profilach kontrolnych	0	Przekształcenia zaobserwowane w profilach kontrolnych	0
Budowle nie zarejestrowane w profilach kontrolnych	12	Budowle nie zarejestrowane w profilach kontrolnych	10
Przekształcenia zaobserwowane podczas oceny syntetycznej, nie zarejestrowane w profilach kontrolnych	0	Przekształcenia zaobserwowane podczas oceny syntetycznej, nie zarejestrowane w profilach kontrolnych	0
Wynik ogólny	12	–	10

Uziarnienie osadów

Analiza sitowa wykazała, że dominującym typem materiału w badanych próbkach są piaski średnioziarniste charakteryzujące się umiarkowanym stopniem wysortowania (tab. 5). Warto jednak zauważyć pewne lokalne różnice w charakterze osadów. W punkcie P1 występuje piasek gruboziarnisty, co może być związane z bardziej dynamicznym środowiskiem. Natomiast w punkcie P6 stwierdzono występowanie piasku drobnoziarnistego.

Tabela 4. Wyniki pomiarów parametrów fizykochemicznych**Table 4.** Results of physicochemical parameter measurements

Próbka/profil	Pomiary pH	Średnie pH	Pomiary konduktywności		Średnia konduktywność	
P1	5,98	6,26	6,12	121,4	129,3	125,4
P2	6,42	6,38	6,40	77,1	84,9	81,0
P4	6,53	6,86	6,70	154,5	161,2	157,9
P5	6,52	6,92	6,72	96,6	92,8	94,7
P6	5,49	5,73	5,61	76,1	81,7	78,9
P7	6,45	6,58	6,52	266,4	317,2	291,8
P9	6,13	6,30	6,22	69,1	67,6	68,4
P10	5,54	6,01	5,78	121,0	127,5	124,3

Tabela 5. Zestawienie wartości wskaźników uziarnienia**Table 5.** Results of grain-size analysis

Próbka/profil	Mz (mm)	Mz (φ)	Sd	Sk	KG
P1	0,5359	0,90	0,94	−0,21	1,38
P2	0,2616	1,94	0,83	0,10	1,16
P4	0,2525	1,99	0,71	0,06	1,13
P5	0,3325	1,59	0,64	−0,05	1,06
P6	0,2416	2,05	0,69	0,06	1,37
P7	0,3201	1,64	1,01	0,10	1,27
P9	0,2658	1,91	0,69	0,05	1,15
P10	0,2513	1,99	0,65	0,06	1,17

5. Stan zachowania koryta Bzury

Analizowany odcinek koryta i doliny Bzury położony jest w obrębie Wzniesień Łódzkich, ma morfologię typową dla górnych odcinków rzek nizinnych: dość duży spadek podłużny o wartości około 10‰, wąskie koryto i wąskie dno dolinne z wyraźnie zaznaczonymi stokami. Dodatkowym ważnym dla stanu zachowania koryta czynnikiem jest to, że przebiega przez kompleks leśny Lasu Łągiwnickiego, o cechach drzewostanu zbliżonego do naturalnych. Zarówno w dnie doliny, jak i jej sąsiedztwie nie zauważono wyraźnych śladów świadczących o intensywniejszej działalności gospodarczej czy osadniczej. Badany obszar stanowi część Parku Krajobrazowego Wzniesień Łódzkich, a w niewielkiej odległości znajduje się Rezerwat leśny Las Łągiwnicki. Teren ten administracyjnie należy do miasta Łodzi i stanowi miejsce turystyczno-wypoczynkowej aktywności mieszkańców. Wybrany do oceny odcinek Bzury leży bezpośrednio poniżej sztucznego zbiornika Arturówek (rys. 2), a koryto rzeki przecinają piesze szlaki turystyczne, dlatego jego środowisko przyrodnicze nie może uchodzić za pozbawione wpływów antropogenicznych.

Do analizy stanu rzeki i jej warunków morfologicznych i hydromorfologicznych zastosowano metodę RHS. Dane zebrane podczas wykonywania oceny taką metodą, poza ustaleniem stanu obecnego koryta, pozwalają także na

porównywanie wyników na różnych odcinkach rzeki, jak też wykonane w pewnych odstępach czasu dają możliwość zarejestrowania zmian (Szoszkiewicz i in. 2009). W ten sposób można wnioskować o wpływie zmian klimatycznych na ekosystemy rzeczne. RHS jest niezwykle przydatny w ocenie skuteczności działań renaturyzacyjnych, takich jak odbudowa koryt rzecznych, renaturyzacja terenów zalewowych czy wprowadzanie struktur poprawiających siedliska. Porównanie danych sprzed i po realizacji projektów renaturyzacyjnych pozwala na ocenę, czy podjęte działania przyniosły zamierzone efekty. Metoda ta dostarcza szczegółowych informacji na temat różnorodności siedlisk rzecznych, co jest kluczowe dla badań nad bioróżnorodnością (Szoszkiewicz i in. 2009).

Zastosowana metoda hydromorfologiczna pozwoliła na ocenę stopnia naturalności i wielkości przekształcenia koryta w wyniku działań ludzkich. Aby zobiektywizować te oceny, a jednocześnie dać możliwość porównywania z innymi podobnymi ciekami, opracowane zostały syntetyczne wskaźniki (Gromiec 2004; Szoszkiewicz i in. 2009).

Z przeprowadzonych badań wynika, że rzeka Bzura zachowuje relatywnie wysoki poziom naturalności. Wartość wskaźnika HQA (59) badanego odcinka wskazuje jej dobry stan w klasyfikacji hydromorfologicznej. Obecność różnorodnych elementów morfologicznych, takich jak naturalne brzegi czy roślinność wodna i przybrzeżna, sprzyja bioróżnorodności i świadczy o stosunkowo niewielkich przekształceniach na tym odcinku. Wprawdzie jednorodna struktura roślinności na brzegach i na dnie doliny znacząco wpływa na podniesienie wartości tego wskaźnika, a więc pogorszenie wyniku oceny naturalności, ale całkowite zalesienie dna doliny i brzegów rzeki oraz naturalne formy koryta rzeki (tab. 1 i 2), spowodowały uzyskanie wysokiego wyniku, jak na rzekę w obszarze miejskim. Z kolei wskaźniki HMS i PIHM wskazują na wyraźne oddziaływanie antropogeniczne. Odcinek Bzury powyżej Arturówka został znacznie przekształcony, m.in. przez regulację koryta i budowę zbiorników wodnych. Na badanym odcinku także widać wpływ hydrotechnicznych umocnień koryta i brzegów, co zakłóca naturalne funkcjonowanie rzeki. Stwierdzone obiekty zabudowy koryta są jednak nieliczne (tab. 1, 2), co dało w efekcie niską wartość wskaźników przekształcenia koryta – HMS oraz PIHM (Gromiec 2004; Szoszkiewicz i in. 2009). Stawy, tamy i zbiorniki wodne zmieniają przepływ i retencję wody, co ma wpływ na procesy erozyjne i akumulacyjne poniżej takich budowli, a więc na analizowanym odcinku.

Opisywany odcinek Bzury podlegał już ocenie hydromorfologicznej (Bartnik, Tomalski 2016), trudno jednak ustalić na ile wykonane wówczas profile obserwacyjne pokrywały się z obecnie analizowanymi. Uzyskane wskaźniki nieco odbiegają wartościami od wykazanych na podstawie obserwacji z roku 2024 (tab. 2, 3), jednak porównanie górnej Bzury z innymi rzekami terenu Łodzi jednoznacznie wykazało, że jest ona najlepiej zachowanym ciekim w Łodzi.

Podobną ocenę stanu hydromorfologicznego wykonano dla górnego Neru – w trzech odcinkach położonych w granicach administracyjnych Łodzi (Szymkiewicz, Twar-

dy 2016). Uzyskane wyniki obserwacji oraz obliczone wskaźniki wykazały zróżnicowanie stanu koryta tej rzeki na analizowanym odcinku, ale też udowodniły wysoki stopień przekształcenia antropogenicznego tej rzeki, znacznie wyższy niż badanego odcinka Bzury. Stan hydromorfologiczny niektórych łódzkich rzek był także przedmiotem analiz statystycznych, które pozwoliły na wnioskowanie o ich walorach geotechnicznych (Michalska 2017; Michalska, Lefik 2021).

Dane z RHS mogą być wykorzystywane do tworzenia modeli ekohydrologicznych, które symulują interakcje między elementami ekosystemów rzecznych. Analiza wyników oceny hydromorfologicznej pozwala na identyfikację obszarów problemowych, takich jak odcinki rzek narażone na erozję, degradację siedlisk czy zanieczyszczenie wód. Uzyskane dla Bzury wyniki wskazują wyraźnie, że stan koryta jest dobry i zdecydowanie korzystny, co powinno wskazać organom administracji miejskiej podjęcie starań nad jego zachowaniem w takiej formie.

Bzura, przepływając przez kompleks Lasu Łągiewnickiego, zachowuje większy stopień naturalności niż większość rzek w granicach Łodzi. W wielu miejscach w mieście rzeki zostały całkowicie skanalizowane lub uregulowane, co praktycznie wyeliminowało ich naturalne cechy hydromorfologiczne. W porównaniu z innymi łódzkimi ciekami, Bzura na badanym odcinku prezentuje kształt i układ koryta zbliżony do naturalnego, choć procesy urbanizacyjne odcisnęły swoje piętno zarówno powyżej badanego odcinka, jak i poniżej. Koryto badanej rzeki jest silnie przekształcone w sąsiedztwie osiedla Łągiewniki Nowe oraz w obrębie miasta Zgierz.

Istotnym elementem oceny stanu naturalności koryta rzeczno jest materiał tworzący jego dno i brzegi. Poza przewidzianymi w metodyce RHS jakościowymi elementami oceny materiału rzeczno wykonano analizy laboratoryjne, dostarczające informacji o jego podstawowych parametrach. Materiał denny, pobrany w miejscach wykonywania profili daje możliwość udokumentowania podstawowych cech litologicznych i fizykochemicznych utworów korytowych. Badania i pobór próbek wykonywane były przy niskim stanie wody i relatywnie niskiej prędkości nurtu (nie wykonywano bezpośrednich hydrologicznych pomiarów). Średnia średnica materiału wskazuje wielkość ziaren osadu, które stanowią połowę masy badanej próbki, pozwala to na interpretowanie prędkości przepływu, przy którym akumulowany był osad (Zieliński 2015). Obliczona wartość Mz około 0,53 mm wskazuje na prędkość przepływu około 8–10 cm/sek (Zieliński 2015), dotyczy jednak pierwszego profilu, usytuowanego najbliżej zapory zbiornika, gdzie energia przepływu jest największa. W następnych profilach średnia średnica jest już znacznie mniejsza (0,24–0,32 mm), co przekłada się na prędkość przepływu około 5–6 cm/sek (Zieliński 2015). Wskaźnik wysortowania materiału (Sd, tab. 4) wynosi od 0,64 do 1,01, co wskazuje na dość dobre i umiarkowane wysortowanie. Można taki wynik interpretować jako dość stabilne warunki prędkości przepływu podczas akumulacji materiału dennego (Mycielska-Dowgiałło 1995).

Parametry fizykochemiczne osadów dennych wskazują z kolei na domieszkę materiału dostarczanego do koryta, zarówno naturalnego, jak i zanieczyszczeń antropogenicznych (Myślińska 2010). Rozszerzenie oceny hydromorfologicznej o oznaczanie takich podstawowych parametrów osadów dałoby znacznie szerszą charakterystykę koryt badanych metodą RHS.

6. Wnioski

Bzura to typowa dla regionu łódzkiego rzeka, wypływająca z silnie zróżnicowanego pod względem geologicznym i geomorfologicznym obszaru Wzniesień Łódzkich, następnie przebiegając ku północy na obszar Równiny Łowicko-Błońskiej przyjmuje postać typowej rzeki nizinnej.

Górny odcinek Bzury przeszedł istotne zmiany spowodowane działalnością człowieka. Koryto w dużym stopniu zostało wyregulowane, a przyległy teren podlegał zagospodarowaniu osadniczemu i przemysłowemu.

Badany fragment górnego odcinka Bzury charakteryzuje się wąską doliną, stromymi stokami, koryto ma niewielką szerokość – do 2 m w badanym odcinku, a także z dobrze zachowanymi elementami naturalnymi, jak stosunkowo kręty przebieg i zróżnicowany profil dna i brzegów. Taki stan zachowania wynika głównie z położenia na obszarze Lasu Łagiewnickiego i Parku Krajobrazowego Wzniesień Łódzkich.

Osady denne Bzury to głównie dość dobrze wysortowane średnio- i drobnopziarniste piaski, typowe dla górnych odcinków niewielkich rzek środkowej Polski, zaś niska konduktywność i lekko kwaśny odczyn materiału dennego wskazuje na niewielkie zanieczyszczenie wód rzeki i jej zlewni.

Do badań zastosowano metodę hydromorfologicznej oceny rzek (RHS), która jest skutecznym narzędziem do monitorowania i analizy stanu ekologicznego rzek, dostarczając precyzyjnych i powtarzalnych wyników w postaci wskaźników. Wskaźnik naturalności siedliska (HQA) dla badanego odcinka Bzury wskazuje na dobry stan zachowania naturalnych cech morfologicznego koryta i brzegów. Wskaźniki przekształcenia siedliska (HMS i PIHM) wskazują na niewielki stopień antropogenicznych zmian koryta rzeki i doliny.

Obecność kompleksu leśnego Lasu Łagiewnickiego oraz brak intensywnej działalności gospodarczej w tym regionie przyczyniają się do zachowania naturalnych cech środowiska. W bezpośrednim sąsiedztwie rzeki nie występuje zabudowa. Mimo pewnych śladów działalności człowieka badany odcinek Bzury zachowuje dobry stan ekologiczny.

Podziękowania

Autorzy dziękują Norbertowi Pietrasikowi i Pawłowi Włodarskiemu za udostępnienie części materiałów terenowych oraz recenzentom za wskazówki, które posłużyły do poprawy treści artykułu.

7. Literatura

- Bartnik A., Tomalski P. 2016. Parametryczna ocena łódzkich rzek pod względem hydromorfologicznym. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN 16: 77–92.
- Dylik J. 1971. Województwo ze stolicą bez antenatów: geografia historyczna województwa łódzkiego. PWN, Łódź.
- Goździk J., Wieczorkowska J. 2002. Rzeźba terenu. Atlas Miasta Łodzi. Plansza VIII.
- Gromiec M.J. 2004. Wybrane aspekty Ramowej Dyrektywy Wodnej w świetle wspólnej strategii jej wdrażania i poradników Unii Europejskiej. SIGMA-NOT: 268–271.
- Jokiel P., Maksymiuk Z. 2002. Wody. Atlas Miasta Łodzi. Plansza IX.
- Klatkowska H., Kamiński J., Szafrńska D. 1995. Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, arkusz Zgierz. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy.
- Michalska B. 2017. Zastosowanie sieci neuronowych do hydromorfologicznego opisu rzeki Jasień. Konferencja Hydrogeologia w Praktyce – Praktyka w Hydrogeologii.
- Michalska B., Lefik M. 2021. Zastosowanie sieci neuronowych do hydromorfologicznego opisu rzeki Olechówki. Zastosowanie metod numerycznych w analizie wybranych zagadnień geotechniki i geotechniki środowiskowej. Politechnika Łódzka, Łódź.
- Mycińska-Dowgięła E. (red.) 1995. Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników. Warszawa.
- Myślińska E. 2010. Laboratoryjne badania gruntów. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Rdzany Z. 2009. Rekonstrukcja przebiegu zlodowacenia warty w regionie łódzkim. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Szozkiewicz K., Jusik S., Zgola T., Hryc-Jusik B. 2009. Hydromorfologiczna ocena wód płynących: podręcznik do badań terenowych według metody River Habitat Survey w warunkach polskich. Warrington, Poznań.
- Szymkiewicz J., Twardy J. 2016. Stan hydromorfologiczny górnego odcinka rzeki Ner w świetle zastosowania metody River Habitat Survey (RHS). Acta Universitatis Lodzensis. Folia Geographica Physica 15: 63–75.
- Trzmiel B., Nowacki K. 1985. Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000, arkusz Łódź Wschód. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy.
- Turkowska K. 2006. Geomorfologia regionu łódzkiego. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Zieliński T. 2015. Sedymentologia: osady rzek i jezior. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, Poznań.
- Ziomek J., Iwańcz T., Laskowski S. 2002. Geologia i gleby. Atlas Miasta Łodzi. Plansza VII.
- www.geoportal.gov.pl

Gabriel Patora¹ • Zuzanna Hoffmann¹ • Jacek Forysiak² ⁽¹⁾ Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, III rok kier. Geomonitoring, Koło Naukowe Geomonitoringu⁽²⁾ Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Katedra Geologii i Geomorfologii

E-mail: gabriel.patora@edu.uni.lodz.pl; zuzanna.hoffmann@edu.uni.lodz.pl; jacek.forysiak@geo.uni.lodz.pl



Osady biogeniczne dna doliny Odry w rejonie miejscowości Gostchorze

Biogenic deposits of the Odra River valley floor in Gostchorze

Zarys treści W artykule przedstawiona została charakterystyka geomorfologiczna i geologiczna torfowiska zlokalizowanego w dolinie Odry w okolicach miejscowości Gostchorze (Pradolina Warciańsko-Odrzańska). Dokonano analizy pobranych rdzeni osadów biogenicznych, określając podstawowe parametry fizykochemiczne osadów biogenicznych na badanym obszarze. Badania miały na celu określenie wieku i warunków akumulacji osadów na terasie zalewowej Odry oraz stwierdzenie przydatności tych osadów do dalszych analiz paleoekologicznych.

Słowa kluczowe Torfowisko, osady organiczne, równina zalewowa, datowanie radiowęglowe, analizy fizykochemiczne, holocen.

Abstract This article presents the geomorphological and geological characteristics of a peat bog located in the Odra River valley near the village of Gostchorze (Warta-Oder Proglacial Valley). Biogenic sediment cores were analyzed, determining the basic physicochemical parameters of the biogenic sediments in the study area. The study aimed to determine the age and conditions of sediment accumulation on the Odra floodplain and to determine the suitability of these sediments for further paleoecological analysis.

Keywords Peatland, organic deposits, floodplain, radiocarbon dating, geochemical analyses, Holocene.

1. Wprowadzenie

Odra jest jedną z głównych rzek obszaru środkowej Europy, a jej dolina kształtowana była w późnym czwartorzędzie jako forma złożona z odcinków o różnej genezie i wieku. W morfologii doliny Odry wyraźnie zaznaczają się równoleżnikowe odcinki, stanowiące fragmenty systemu odwodnienia podczas zlodowaceń plejstoceny – zlodowacenia Odry (ok. 300–130 tys. lat temu) i Wisły (ok. 115–11,7 tys. lat temu) (Mojski 2005). Połączone są stosunkowo krótkimi, południkowymi odcinkami, które mają charakter erozyjny i kształtowane były w okresach interglacjalnych. Dolina Odry kształtowała się głównie pod wpływem warunków fluwioglacjalnych i peryglacjalnych, jednak wiedza o rozwoju doliny Odry w obszarze nizin i pojezierzy jest niewystarczająca (Przybylski, Badura 2004), brak bowiem kompleksowych opracowań paleogeograficznych dotyczących vistulianu i holocenu. W równoleżnikowych odcinkach doliny Odry, zwłaszcza w środkowym i dolnym jej biegu, osady biogeniczne zajmują znaczne fragmenty dna doliny.

W poniższym artykule badaniami objęto utwory zalegające w obrębie rozległego torfowiska położonego w rejonie miejscowości Gostchorze, około 5 km na

wschód od Krosna Odrzańskiego. Badania mają na celu rozpoznanie budowy geologicznej tej części doliny Odry i oznaczenie właściwości osadów biogenicznych na tym obszarze, co pozwoli na podjęcie próby odtworzenia zmian warunków środowiska podczas ich akumulacji.

Badania osadów biogenicznych (torfów i gytii) mają na celu rekonstrukcję dawnych warunków środowiskowych i klimatycznych, w tym zmian hydrologicznych, przekształceń koryta rzeki oraz rozwoju zbiorników wodnych. Analiza ich składu pozwala odtworzyć fizyczne i chemiczne warunki życia w badanym rejonie oraz zidentyfikować kluczowe etapy ewolucji lokalnego krajobrazu (Myślińska 1998, 2010; Ilnicki 2002). Torfowiska są szczególnie cenne, bowiem ich powierzchnia w Polsce i na świecie stale się pomniejsza (Tobolski 2000). Dlatego torfowiska, które zachowały się jeszcze w stosunkowo dobrym stanie są elementami środowiska, które należy ściśle chronić ze względu na ich zmniejszającą się powierzchnię. Jednakże osuszanie terenów podmokłych, przyspieszenie mineralizacji torfu na skutek przesuszenia torfowisk przez wyższe temperatury i niższe opady, czy sama eksploatacja torfu przez człowieka, to tylko niektóre z przyczyn zaniku torfowisk (Ilnicki 2002).

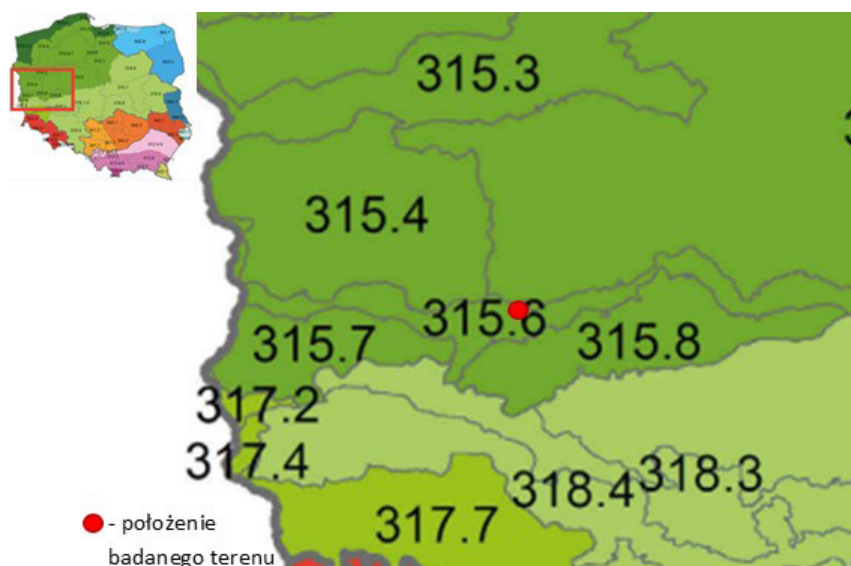
2. Charakterystyka obszaru badań

Torfowisko w Gostchorzu objęte badaniami położone jest 1,5 km na północny-zachód od centrum miejscowości i przylega do północnej krawędzi doliny Odry. Obszar badań znajduje się w środkowo-zachodniej części Polski, w województwie lubuskim, ok. 5 km na zachód od Krosna Odrzańskiego. Torfowisko od północy przylega do krawędzi doliny, granicząc z wysoczyzną morenową zbudowaną z glin zlodowacenia Wisły. W bezpośrednim sąsiedztwie przebiega współczesne koryto rzeki, które na opisywanym odcinku jest uregulowane i ustabilizowane systemem ostróg.

Zgodnie z regionalizacją fizycznogeograficzną Polski (wg. Solon i in. 2018), teren ten znajduje się przy granicy makroregionu Pradoliny Warciańsko-Odrzańskiej [315.6] (rys. 1). Jest to rozległa (do 8 km) płaskodenna dolina

utworzona w wyniku działalności lodowcowej oraz fluwio-glacialnej podczas fazy leszczyńskiej zlodowacenia Wisły, przemodelowana następnie w późnym glacialu i holocenie przez procesy eoliczne i fluwialne. Gleby tego makroregionu to m.in. mady brunatne, mady piaszczyste, mady właściwe oraz gleby organiczne murszowe (Tołoczko 2020).

Wspomniane osady zostały pobrane z doliny rzeki Odry, która w rejonie miejscowości Gostchorze przebiega w pradolinie, a w jej budowie geologicznej obecne są osady uformowane przez zlodowacenia czwartorzędowe (Mojski 2005). Obecnie ten odcinek rzeki Odry jest częścią największej polskiej pradoliny warszawsko-berlińskiej. Jedną z wyróżniających cech doliny Odry jest jej duża szerokość, wynosząca nawet kilkanaście kilometrów. Jednak w rejonie Gostchorza dolina Odry ulega charakterystycznemu przewężeniu i zmniejsza swoją szerokość do około 2,3 km (Gruszka i in. 2015).



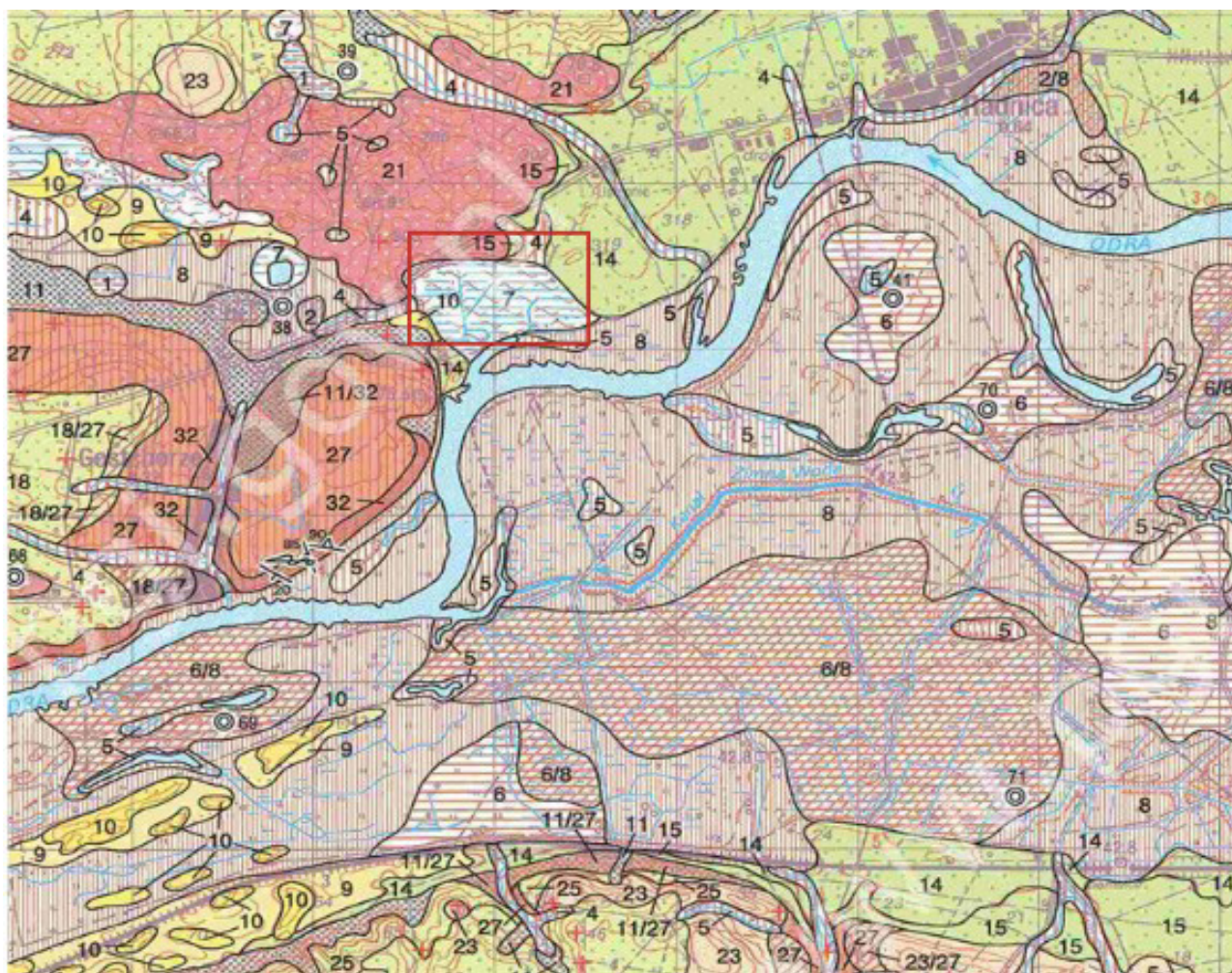
Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań na tle podziału fizyczno-geograficznego Polski (Solon i in. 2018)

Fig. 1. Location of the study area in the context of the physical and geographical division of Poland (Solon et al. 2018)

Okolice Gostchorza położone są na pograniczu obszarów o różnej budowie geologicznej i genezie rzeźby terenu – pradoliny oraz wysoczyzny morenowej. W badanym fragmencie Pradoliny Warciańsko-Odrzańskiej jej wypełnienie stanowią osady rzeczne i fluwio-glacialne wieku plejstocenckiego (głównie związane ze zlodowaczeniami Odry i Wisły) oraz holocenyjskie piaski, żwiry i muły rzeczne (rys. 2). Wypełniają one kopalną pradolinę. Gliny zwałowe, iły i mułki pochodzenia glacialnego, a także piaski i żwiry lodowcowe można znaleźć na stokach oraz krawędziach doliny oddzielającymi je od obszaru wysoczyzny morenowej, położonej na południe oraz południowo-zachód od doliny. W części północno-zachodniej fragmenty wysoczyzn morenowych mają budowę zdominowaną przez utwory gliniaste. Obecność glin zwałowych oraz piasków fluwio-glacialnych świadczy o obecności lądolodu oraz działalności fluwio-glacialnej i po obu stronach doliny powstały one w fazie leszczyńskiej zlodowacenia Wisły (Mojski 2005; Sztormwasser 2003b). Miąższość torfów holocenyjskich i podścielających je osadów jeziornych łącznie sięga do 3,6 m, stanowią wypełnienie kopalnego staro-

rzecza i przylegającego do niego obniżenia. Powierzchnia mokradła jest pocięta rowami melioracyjnymi, w części widoczne są ślady eksploatacji torfu.

Badane torfowisko położone jest w obrębie szerokiej terasy zalewowej Odry (rys. 3), która charakteryzuje się płaską rzeźbą terenu o deniwelacjach nieprzekraczających 2–3 m (rys. 4). Koryto rzeki na tym obszarze położone jest na wysokości ok. 40,0 m n.p.m., zaś powierzchnia terasy zalewowej wznosi się na wysokość 41–42 m n.p.m. Wysokości względne są niskie (ok. 1–2 m), natomiast na powierzchni wyraźnie zaznaczają się starorzecza i odsypy meandrowe, świadczące o działalności erozyjno-akumulacyjnej dynamicznie rozwijającej się na tym terenie. Równie dobrze odznaczają się krawędzie teras rzecznych, które następnie przechodzą w wyraźnie wyższe i stromiej nachylone wysoczyzny (rys. 4). Natomiast obecna sieć rzeczna badanego obszaru jest widoczna na rys. 5. Torfowisko zostało zmeliorowane poprzez sieć rowów odwadniających połączonych z korytem Odry, które jest ustabilizowane systemem ostróg.



Rys. 2. Fragment Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000 (536 – Krosno Odrzańskie; Sztromwasser 2003a)

Objaśnienia wybranych wydzieleni geologicznych:

Holocen: 1 – torfy, 2 – namuły torfiaste, 4 – piaski, żwiry rzeczne i namuły den dolinnych oraz zagłębień okresowo przepływowych, 5 – piaski i namuły starorzeczy, zagłębień bezodpływowych i okresowo przepływowych, 6 – iły, mułki, miejscami z domieszką piasków (mady), 7 – mułki i piaski jeziorne, 8 – piaski i żwiry rzeczne terasów zalewowych 1,0–2,5 m n.p. rzeki; Czwartorzęd: 9 – piaski eoliczne, 10 – piaski eoliczne w wydmach, 11 – gliny i piaski deluwialne; Zlodowacenia północnopolskie (vistulian): 14 – piaski i żwiry rzeczne terasów nadzalewowych 3,0–6,0 m n.p. Odry, 15 – piaski i żwiry terasów pradolinnych 6,0–12,0 m n.p. rzeki, 18 – piaski i żwiry wodnolodowcowe, 21 – piaski, żwiry i mułki kemów, 23 – piaski, żwiry i głazy lodowcowe; Zlodowacenia środkowopolskie (Warty): 27 – gliny zwałowe
Czerwona ramka obejmuje badane mokradło

Fig. 2. Fragment of the Detailed Geological Map of Poland 1:50 000 (536 – Krosno Odrzańskie; Sztromwasser 2003a)

Explanations of selected geological divisions:

Holocene: 1 – peat, 2 – peaty silts, 4 – fluvial sands, gravels and floodplain silts and periodically flowing depressions, 5 – sands and silts of oxbow lakes, drainless depressions and periodically flowing depressions, 6 – clays, silts, in places with an admixture of sands (alluvial soils), 7 – lacustrine silts and sands, 8 – fluvial sands and gravels of floodplains 1.0–2.5 m above river level; Quaternary: 9 – aeolian sands, 10 – aeolian sands in dunes, 11 – deluvial clays and sands; North Polish glaciation (Vistulian): 14 – fluvial sands and gravels of floodplain terraces 3.0–6.0 m above the Odra River level, 15 – sands and gravels of marginal valley terraces 6.0–12.0 m above the river level, 18 – glaciofluvial sands and gravels, 21 – sands, gravels and silts of kames, 23 – sands, gravels and glacial boulders; Central Polish glaciation (Warta): 27 – glacial deposits
The red frame covers the studied wetland

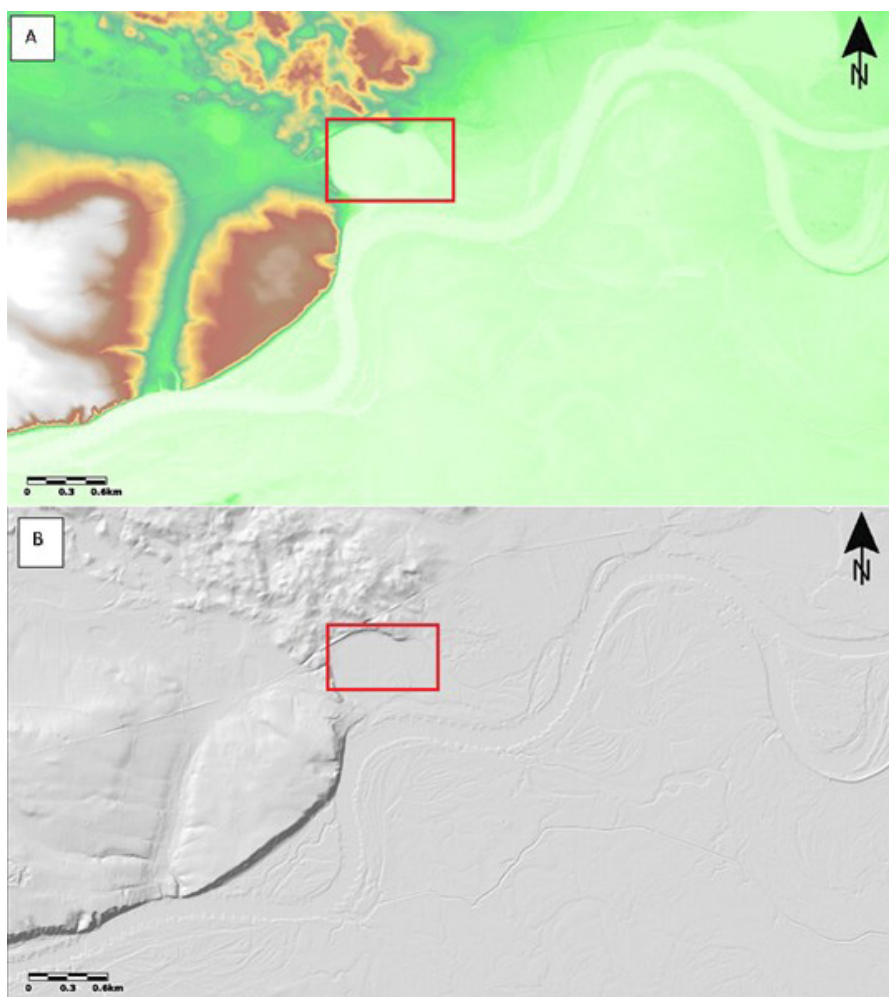


Rys. 3. Fragment Szkicu Geomorfologicznego SMGP 1:100 000 (Sztromwasser 2003b)

Wybrane objaśnienia wydzieliń geomorfologicznych: 1 – terasa akumulacyjna rzeczna, zalewowa, 2 – terasa rzeczna, nadzalewowa, 3 – poziomy sandrowe, 4 – kemy, plateau kemowe, 5 – moreny przekształcone peryglacjalnie, 6 – równiny jeziorne, 7 – starorzecza świeże (zawodnione), 8 – równiny sandrowe i wodnolodowcowe, 9 – długie stoki, 10 – wały przeciwpowodziowe, 11 – wydmy, 12 – terasy pradolinne, 13 – krawędzie i stoki wysoczyzny, 14 – krawędzie i stoki terasów, 15 – wysoczyzna morenowa falista
Czerwona ramka obejmuje badane mokradło

Fig. 3. Fragment of the SMGP 1:100 000 Geomorphological Sketch (Sztromwasser 2003b)

Selected explanations of geomorphological features: 1 – fluvial accumulation terrace, floodplain, 2 – fluvial high terrace, 3 – sandur outwash plain levels, 4 – kames, kame plateau, 5 – periglacially transformed moraines, 6 – lake plains, 7 – fresh (waterlogged) oxbow lakes, 8 – outwash plains and glacial plains, 9 – long slopes, 10 – flood embankments, 11 – dunes, 12 – marginal valley terraces, 13 – edges and slopes of uplands, 14 – edges and slopes of terraces, 15 – undulating moraine uplands
The red frame covers the studied wetland



Rys. 4. Fragment mapy hipsometrycznej NMT – Geoportal (A). Fragment mapy z cieniowaniem NMT – Geoportal (B) (geoportal.gov.pl) Czerwona ramka obejmuje badane mokradło

Fig. 4. Fragment of the NMT hypsometric map – Geoportal (A). Fragment of the NMT shaded relief map – Geoportal (B) (geoportal.gov.pl) The red frame covers the studied wetland

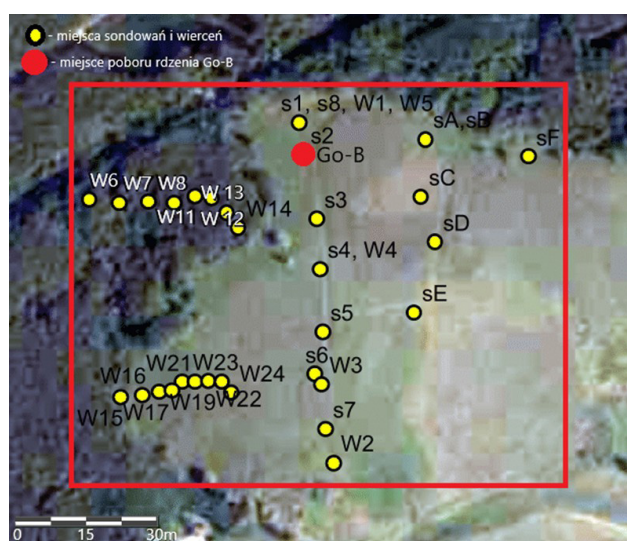


Rys. 5. Sieć rzeczna okolic Gostchorza – Geoportal (geoportal.gov.pl) Czerwona ramka obejmuje badane mokradło

Fig. 5. River network in the vicinity of Gostchorze – Geoportal (geoportal.gov.pl) The red frame covers the studied wetland

3. Metody badań

Prace terenowe obejmowały rozpoznanie budowy geologicznej mokradła i przylegających do niego części terasy zalewowej i stoków doliny. Wykonano 42 wiercenia i sondowania ręczne (rys. 6). Z profili wierceń Go-B pobrane zostały próbki materiału mineralnego i organicznego. Do wykonania analiz litologicznych i oznaczeń laboratoryjnych wytypowano profil Go-B, położony około 200 metrów od północnej krawędzi obniżenia. W obszarze mokradła wykonano dokumentację miąższości serii organicznych przy użyciu próbnika żłobkowego, zaś rdzeń osadów Go-B o długości 360 cm pobrano przy użyciu próbnika Instorf, zabezpieczono i opróbkowano w warunkach laboratoryjnych.



Rys. 6. Zaznaczone miejsca sondowań i wierceń – Geoportal (geoportal.gov.pl)
Czerwona ramka obejmuje badane mokradło

Fig. 6. Marked locations of soundings and drillings – Geoportal (geoportal.gov.pl)
The red frame covers the studied wetland

Metody laboratoryjne obejmowały określenie parametrów fizykochemicznych: konduktywności, odczynu (pH), zawartości węglanów oraz określenia popielności osadów (Myślińska 2010). Badaniami laboratoryjnymi objęte były dwa odcinki rdzenia Go-B: spągowy – od 345 cm do 250 cm oraz środkowa część profilu – między 200 cm a 160 cm. Przebadano tylko część rdzenia, ponieważ profil na wysokości 200–250 zawiera liczne fragmenty namytęgo materiału. Pobrany w terenie rdzeń Go-B – został podzielony na dwucentymetrowe fragmenty o wadze około 3 g każdy. Następnie wszystkie próbki zostały rozrzucone w moździerzu i rozcieńczone wodą destylowaną, co umożliwiło użycie metody konduktometrycznej do oznaczenia konduktywności i metody elektrolitycznej do oznaczenia odczynu przy użyciu konduktometru i pH-metru firmy Elmetron (Myślińska 2010). Zawartość węglanów oznaczono metodą Scheiblera (Myślińska 2010). Popielność oznaczono wyprażając próbki w piecu muflowym w temperaturze 550°C przez 4 godziny (Myślińska 2010).

Przeprowadzono też dwa datowania radiowęglowe osadów w Laboratorium Datowań Bezwzględnych w Krakowie. Materiał z głębokości 179–180 cm (MKL-A7080) i 276–278 cm (MKL-A7081) oznaczono za pomocą metody AMS (Walanus, Goslar 2010).

4. Wyniki badań

W wyniku przeprowadzonego rozpoznania miąższości osadów biogenicznych w obrębie mokradła stwierdzono, że ich miąższość waha się od około 1 metra w części południowej do nieco ponad 3 metrów w części północnej torfowiska. Mineralne podłoże zbudowane z piasków z domieszką materiału organicznego znajduje się na głębokości około 360 cm. Powyżej zalega gytia mułkowa (332–345 cm), gytia ilasta (295–332 cm), gytia detrytusowa (280–295 cm), torf zielony (220–280 cm) oraz torf zielony z detrytusem roślinnym (150–220 cm) (rys. 7). W odcinku spągowym (250–345 cm) wyraźnie zaznacza się znaczna zmienność litologiczna, do której zmiennością nawiązują parametry fizykochemiczne. W bardziej jednorodnej środkowej części (160–200 cm) profilu zróżnicowanie parametrów fizykochemicznych jest zdecydowanie mniejsze.

W badanym profilu Go-B odczyn jest kwaśny do bardzo kwaśnego i w odcinku środkowym (160–200 cm – torf zielony z detrytusem roślinnym) waha się w granicach 4,44–5,11. Wartości pH rosną od 160 do 180 cm, następnie maleją do głębokości 200 cm. W części spągowej wartości odczynu mają większe zróżnicowanie (od 2,9 do 5,89). Na wysokości 254 cm pH osiąga 5,53 (torf zielony) po to, by następnie spaść do 2,9 na wysokości 282 cm (gytia detrytusowa). Ponowny szybki wzrost wartości pH do 5,89 na głębokości 300 cm wskazuje na inny typ materiału – w tym przypadku jest to gytia ilasta szara. Późniejszy ponowny spadek do wartości pH w przedziale 3,13–3,87 charakteryzuje gytie ilastą ciemnoszarą, gytie mułkową i piasek z materiałem organicznym, stanowiący podłoże dla serii biogenicznych.

W badanym profilu konduktywność skorelowana jest z wartością odczynu. W większej części profilu wraz ze wzrostem odczynu malała konduktywność osadu. W środkowym odcinku profilu, zbudowanym z torfu zielonego z detrytusem roślinnym, konduktywność na głębokości 160 cm wyniosła 596,90 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i spadła do wartości 275,55 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Natomiast w spągowym odcinku wartości wahały się od 274,35 do 2183,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$. W obrębie torfu zielonego (250–280 cm) wartości wahały się w zakresie 274,35–835,15 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Niżej nastąpił szybki wzrost do wartości 1870 $\mu\text{S}/\text{cm}$, gwałtowny spadek (354, 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$) i ponowny wzrost do wartości 2183,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (gytia detrytusowa i gytia ilasta szara – 280–332 cm). W części położonej najgłębiej (gytia ilasta, mułkowa, piasek organiczny – 332–360 cm) konduktywność rosła od 493 do 1561,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

W części środkowej badanego rdzenia popielność osadu waha się od około 8 do 19%. W części spągowej na głębokości 250–258 cm można zauważyć niewielki spadek popielności do 18,5%. Następnie zaznacza się gwałtowny

wzrost w próbce z głębokości 290 cm, gdzie popielność sięga 89%. Podążając w dół profilu ku spągowi popielność spada o około 10% po to, by znów wzrosnąć, tym razem powolnie, do wartości niemalże 95% na głębokości 340 cm. Nie wykazano powiązania tego parametru z przebiegiem zmian konduktywności i pH osadu.

Zawartość węglanu wapnia w badanych próbkach ogólnie jest niska i waha się w zakresie 1,5–6,5%. W środkowym odcinku profilu (160–200 cm) wartości są bardzo nieregularne i nie wykazują jednoznacznego trendu. W odcinku spągowym można zauważyć ogólny spadek zawartości węglanu wapnia wraz z głębokością (do 1,5% na głębokości 345 cm).

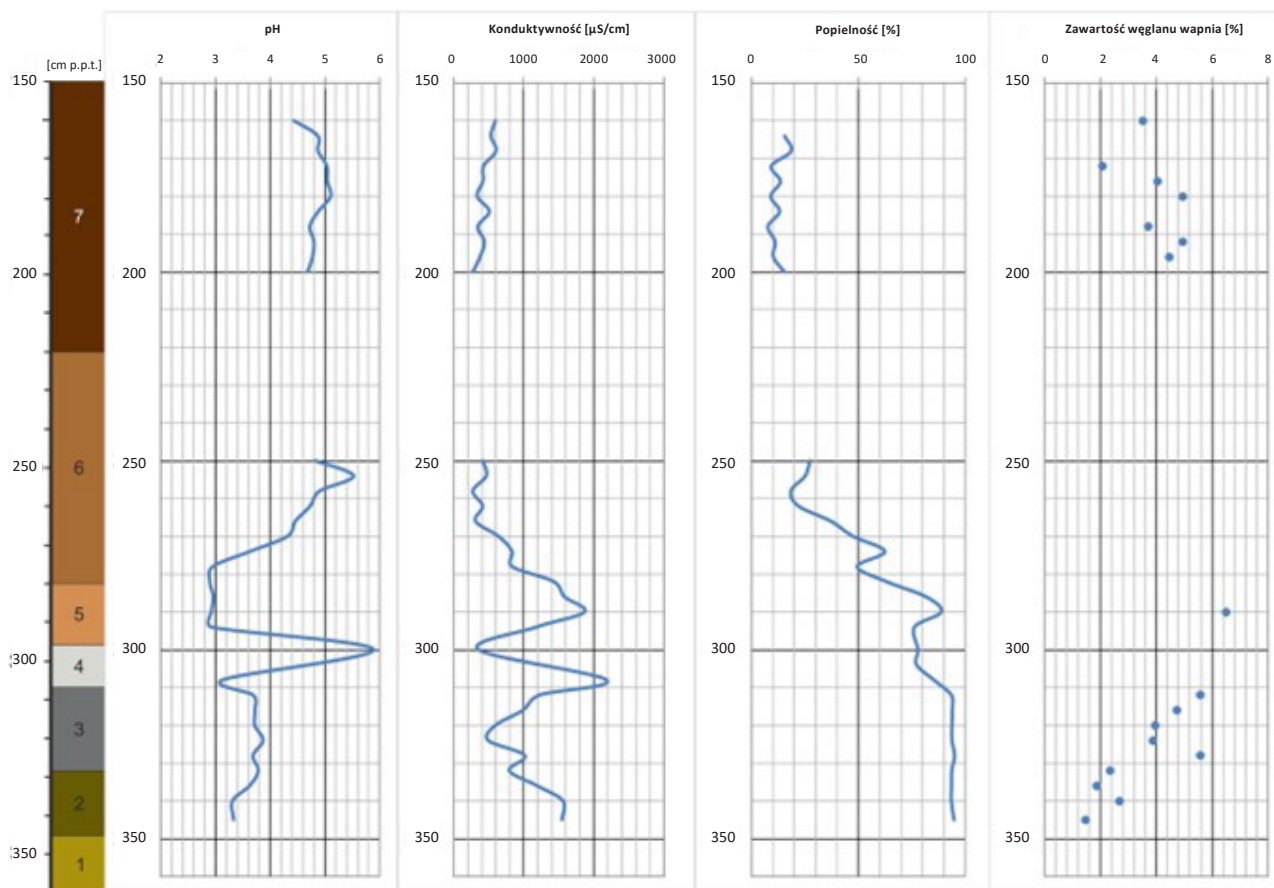
Ważnym elementem wśród uzyskanych wyników są datowania bezwzględne osadów. Dla próbki z głębokości 179–180 cm uzyskano wiek radiowęglowy 1863 ± 22 lat BP (MKL-A7080), po kalibracji uzyskując wiek pomiędzy 125 a 234 lat AD). Wiek osadu można przypisać do środ-

kowej części okresu subatlantyckiego (Starkel i in. 2013). Próbką z głębokości 276–278 cm wydатовana została na 2620 ± 21 BP (MKL-A7081), która po kalibracji mieści się w przedziale 811–780 lat BC, co może być wiązane z przejściem okresu subborealnego w subatlantycki (Starkel i in. 2013). Wyniki zostały również przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki datowania radiowęglowego z Laboratorium Datowań Bezwzględnych w Krakowie

Table 1. Radiocarbon dating results from the Absolute Dating Laboratory in Cracow

Nazwa próbki	Datowany materiał	Głębokość (cm)	Wiek konwencjonalny	Wiek kalibrowany
MKL-A7080	Torf zielny z detrytusem roślinnym	179–180	1863 ± 22 lat BP	125–234 kal. AD (95,4% prawdop.)
MKL-A7081	Torf zielny	276–278	2620 ± 21 BP	811–780 kal. BC (95,4% prawdop.)



Rys. 7. Wyniki oznaczeń parametrów fizykochemicznych osadów rdzenia Go-B. 1 – piasek z materiałem organicznym, 2 – gytia mułkowa, 3 – gytia ilasta, ciemnoszara, 4 – gytia ilasta, szara, 5 – gytia detrytusowa, 6 – torf zielny, 7 – torf zielny z detrytusem roślinnym

Fig. 7. Results of physicochemical parameter of Go-B core deposits. 1 – sand with organic matter, 2 – silty gyttja, 3 – dark grey argillaceous gyttja, 4 – grey argillaceous gyttja, 5 – detrital gyttja, 6 – herbaceous peat, 7 – herbaceous peat with plant detritus

5. Interpretacja wyników

Na podstawie przeprowadzonych analiz litologicznych oraz badań laboratoryjnych parametrów fizykochemicznych osadów z mokradła w Gostchorzu można przedstawić wstępną analizę zmian środowiskowych, jakie zachodziły na tym obszarze. Obniżenie, w którym zakumulowane osady zostały poddane analizom ma pochodzenie fluwialne, jego zarys ma kształt zakola meandrowego i jego powstanie związane może być z aktywnym podcinaniem krawędzi dna doliny przez koryto Odry. Na obecnym etapie brak jednak możliwości określenia czasu powstania i odcięcia meandra przez rzekę, co mogło nastąpić zarówno w późnym glacie, jak i w holocenie (Starkel i in. 2013).

Wyniki badań osadów rdzenia Go-B pozwalają zaobserwować kolejne fazy zmian w zbiorniku jeziornym i jego późniejsze przejście w torfowisko. Podczas pierwszej, najstarszej fazy (od początku funkcjonowania jeziora do zmian zaobserwowanych na głębokości 310 cm), osady zbiornika reprezentują: gytia mułkowa, ilasta oraz piasek z materiałem organicznym. W tej fazie popielność przekraczająca 90% może wskazywać na dostawę dużej ilości materiału mineralnego z otoczenia i dobre natlenienie siedliska (Myślińska 2010). Niskie pH (2–4 pH) wskazuje na dużą kwasowość zbiornika w czasie akumulacji osadów. Niewielki, ale wzrastający udział węglanu wapnia może świadczyć o jego dostawie ze zlewni albo korzystnych warunkach do ich powstawania w zbiorniku (Okupny 2023).

Kolejne dwie fazy odpowiadają funkcjonowaniu jeziora, prawdopodobnie o zmiennych warunkach siedliskowych. Faza druga (zarejestrowana na głębokości od 310 cm do 295 cm), charakteryzuje się głównie występowaniem gytii ilastej oraz detrytusowej, która przejawia znaczne zmiany w parametrach fizykochemicznych. Wartość pH gwałtownie wzrasta stając się bardziej obojętnym (pH 6). Konduktywność osadu maleje, co razem sugeruje małą ilość rozpuszczonych soli przy jednoczesnym wzroście ilości materii organicznej produkowanej w zbiorniku (Okupny 2023). Cyrkulacja wód mogła być ograniczona z powodu okresowego zmniejszenia dopływu wód rzecznych (Myślińska 2010). Od 295 cm do 280 cm zidentyfikowano fazę III rozwoju zbiornika, w trakcie której ponowna depozycja gytii detrytusowej, wzrost popielności i spadek odczynu wskazywałyby na zwiększenie produkcji biomasy roślinnej w obrębie zbiornika. Sugeruje to przeobrażanie się zbiornika jeziornego w torfowisko.

Faza IV (głębokość ok. 296–308 cm p.p.t.) wskazuje na funkcjonowanie torfowiska, a przejście od etapu jeziornego do torfowiska mogło nastąpić dość gwałtownie. W tej fazie zdeponowane zostały osady z głębokości 276–278 cm, które datowane są na 811–780 kal. BC (MKL-A7081), a więc przełom okresów subborealnego i subatlantyckiego (Starkel i in. 2013). Faza IV cechuje się sukcesją środowiskową zbiorowisk torfotwórczych, zaznaczoną poprzez obecność torfu zielnego (Tobolski 2000). Zawartość węglanów oraz konduktywność osadu w tej

fazie spadają, a odczyn pH pozostaje w zakresie 4–5 pH. Spadek popielności potwierdza ograniczenie dostawy materiału mineralnego, a jednocześnie dominację szczątków roślinności bagiennej. W finalnej fazie V (od 200 cm do 160 cm) obecność torfu zielnego wraz z detrytusem roślinnym wskazuje już na rozwinięcie dobrze funkcjonującego torfowiska niskiego (Tobolski 2000). Parametry fizykochemiczne pokazują, że miało ono ok. pH 6 oraz niską konduktywność, potwierdzając niewielką dostawę materiału spoza siedliska. Próbkę z głębokości 179–180 cm datuje się na 125–234 kal. AD (MKL-A7080), czyli środkową część okresu subatlantyckiego, wiążącego się ze wzmożoną aktywnością antropogeniczną okresu wpływów rzymskich (Starkel i in. 2013).

6. Wnioski

Na podstawie litologii oraz parametrów fizykochemicznych (pH, konduktywność, popielność, zawartość węglanów) wydzielono pięć głównych faz rozwoju torfowiska w Gostchorzu: od zbiornika wodnego o dużym udziale osadów mineralnych i niskim pH, przez stopniową eutrofizację i przeobrażenie w torfowisko, aż do w pełni rozwiniętego torfowiska niskiego. Zmiany te odzwierciedlają sukcesję roślinności oraz procesy sedymentacyjne zachodzące w obrębie zbiornika o zmiennej głębokości i dostępności tlenu.

Datowania radiowęglowe wykonane za pomocą metody AMS wskazują, że najstarsze osady torfowe (torfy zielne – faza IV) datowane są na 2620 ± 21 BP (MKL-A7081), która po kalibracji mieści się w przedziale 811–780 lat BC, natomiast młodsze torfy z górnej części profilu (torfy zielne z detrytusem roślinnym – faza V) powstały około 1863 ± 22 lat BP (MKL-A7080), pomiędzy 125 a 234 lat AD. Przyporządkowuje to wiekowo te osady odpowiednio do okresów przejścia okresu subborealnego w subatlantycki oraz do środkowej części subatlantyku.

Z uwagi na dobrze zachowaną sekwencję osadów biogenicznych i ich wyraźne różnicowanie litologiczne i fizykochemiczne, badane torfowisko stanowi cenne archiwum zmian środowiska naturalnego. Może ono służyć jako podstawa do prowadzenia dalszych badań paleośrodowiskowych, w tym rekonstrukcji zmian klimatycznych i hydrologicznych w dolinie Odry, a także lokalnych zmian w pokrywie roślinnej i charakterze sedymentacji. W przyszłości warto przeprowadzić szczegółowe analizy palinologiczne i geochemiczne, które pozwolą na rekonstrukcję lokalnych zmian roślinności i klimatu. Możliwe jest również zastosowanie datowań wielopunktowych w celu precyzyjnego określenia tempa sedymentacji i faz rozwoju torfowiska. Interesującym kierunkiem badań byłoby porównanie wyników z innymi torfowiskami doliny Odry, co umożliwiłoby identyfikację regionalnych trendów środowiskowych. Torfowisko może także posłużyć jako wskaźnik antropogenicznych przekształceń krajobrazu w okresie pradziejowym i historycznym.

7. Literatura

- Gruszka B., Twardy J., Kałagate S., Forysiak J. 2015. Goskar – Grodzisko w Gostchorzu. Oddział Lubuski Stowarzyszenia Naukowego Archeologów Polskich, Gmina Krosno Odrzańskie: 1–38.
- Ilnicki P. 2002. Torfowiska i torf. Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań: 1–606.
- Mojski E.J. 2005. Ziemie polskie w czwartorzędzie: Zarys morfogenezy. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa: 1–404.
- Myślińska E. 1998. Laboratoryjne badania gruntów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 1–244.
- Myślińska E. 2010. Laboratoryjne badania gruntów i gleb. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa: 1–277.
- Okupny D. 2023. Geochemical characteristics of Late Glacial and Holocene biogenic sediments in Central Poland and implications for reconstructing the palaeoenvironment. *Acta Geographica Lodziensia* 113: 47–76. <https://doi.org/10.26485/AGL/2023/113/3>
- Przybylski B., Badura J. 2004. Rozpoznanie budowy geologicznej rejonu doliny Odry w świetle szczegółowej kartografii geologicznej. *Przegląd Geologiczny* 52 (11): 1001–1008.
- 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., Krąż P., Lechnio J., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papińska E., Rodzik A., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziąja W. 2018. Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data. *Geographia Polonica* 91: 143–170. <https://doi.org/10.7163/GPOL.0115>
- Starkel L., Michczyńska D.J., Krąpiec M., Margielewski W., Nalepka D., Pazdur A. 2013. Progress in the Holocene chrono-climatostratigraphy of Polish territory. *Geochronometria* 40 (1): 1–21.
- Sztromwasser E. 2003a. Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1:50 000. Arkusz Krosno Odrzańskie 536. PIG, Warszawa.
- Sztromwasser E. 2003b. Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000. Arkusz Krosno Odrzańskie 536. PIG, Warszawa.
- Tobolski K. 2000. Przewodnik do oznaczania torfów i osadów jeziornych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 1–507.
- Tołoczko W. 2020. Gleby orne makro- i mezoregionów fizycznogeograficznych Polski. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 1–178.
- Walanus A., Goslar T. 2010. Datowanie radiowęglowe. Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, Karków: 1–148.
- www.geoport.gov.pl



Wiktor Piech

Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Katedra Geografii Fizycznej

E-mail: wiktor.piech@geo.uni.lodz.pl

Środowiskowe uwarunkowania lokalizacji wczesnośredniowiecznego grodu w Rękoraju (Polska Środkowa)

Environmental determinants of the location of the Early Medieval stronghold in Rękoraj (Central Poland)

Zarys treści

Przedmiotem niniejszej pracy jest szczegółowa analiza środowiskowych uwarunkowań lokalizacji grodu wczesnośredniowiecznego w Rękoraju, ze szczególnym uwzględnieniem czynników geologicznych, geomorfologicznych oraz hydrologicznych. Badania terenowe przeprowadzono na obszarze o powierzchni około 80 km², obejmującym promień 5 km wokół grodziska, co odpowiada strefie penetrowanej przez człowieka w okresie wczesnego średniowiecza. Lokalizacja warowni była ściśle związana z naturalnymi walorami terenu, czyli umiarkowanym nachyleniem stoków (2–2,5°), terasami zbudowanymi z piasków drobno- i średnioziarnistych oraz gęstą siecią małych dolin rzecznych i dolin denudacyjnych, które ułatwiały penetrację wysoczyzn. Pomimo ograniczonego potencjału rolniczego na badanym obszarze, w bezpośredniej strefie grodu istniały korzystne warunki do prowadzenia tzw. agrotechniki lekkiej. Ponadto fortyfikacje zostały ulokowane na cyplu wysoczyzny, odgrodzonej od strony wschodniej i północnej dolinami rzeczными, a od południowej suchą doliną. Taki rozkład tworzył wysokie walory obronne.

Słowa kluczowe

Geoarcheologia, geomorfologia, georóżnorodność, region łódzki, fortyfikacje obronne, okres wczesnośredniowieczny.

Abstract

The subject of this study is a detailed analysis of the environmental determinants influencing the location of the early medieval stronghold in Rękoraj, with particular emphasis on geological, geomorphological, and hydrological factors. Field investigations were conducted over an area of approximately 80 km², encompassing a 5 km radius around the stronghold, corresponding to the zone actively exploited by humans during the early medieval period. The location of the fortification was closely linked to the natural attributes of the terrain, including a moderate slope inclination (2–2.5°), terraces composed of fine- and medium-grained sands, and a dense network of small river valleys and denudation valleys that facilitated the penetration of the highlands. Despite the limited agricultural potential of the study area, favourable conditions for the implementation of so-called light agrotechnology existed within the immediate vicinity of the stronghold. Furthermore, the fortifications were situated on a promontory of the upland, delineated by river valleys on the eastern and northern sides, and by a dry valley to the south. This topographic arrangement conferred significant defensive advantages.

Keywords

Geoarchaeology, geomorphology, geodiversity, Łódź region, defensive fortifications, early medieval period.

1. Wprowadzenie

Badania paleoekologiczne i archeologiczne wskazują, że decyzje osadnicze dawnych społeczności były uzależnione od potencjału środowiskowego zajmowanych terenów (Kalicki 2006; Kittel 2012; Kittel i in. 2018a; Twardy i in. 2018; Podgórski i in. 2021; Zamelska-Monczak i in. 2021; Korczyńska-Cappenberg i in. 2023; Kalicki i Biesaga 2024). Zrozumienie relacji pomiędzy komponentami środowiska naturalnego a aktywnością człowieka stanowi kluczowy element analiz geoarcheologicznych. Składowe środowiska geograficznego kształtują warunki życia i rozwoju grup ludzkich, mogą je zarówno wspierać, jak i ograniczać, podczas gdy działalność człowieka wpływa na przekształcanie tych elementów.

Charakter i natężenie przemian środowiskowych zmieniają się wraz ze stopniem antropopresji, która oddziałuje na środowisko od stuleci. W związku z tym szczegółowa analiza budowy geologicznej, ukształtowania terenu, hydrografii, klimatu, gleb oraz pokrywy roślinnej jest niezbędna dla zrozumienia uwarunkowań rozwoju osadnictwa (Wachecka-Kotkowska 2004; Buko 2007; Kittel 2012; Kittel i in. 2018a, 2018b, 2018c; Twardy 2013; Twardy i in. 2018). Podstawowym etapem badań geoarcheologicznych pozostaje rozpoznanie budowy geologicznej i morfologii badanego obszaru, gdyż czynniki te w największym stopniu determinują rozwój pozostałych elementów środowiska.



Original article; Received: 1.08.2025; Revised: 24.09.2025; Accepted: 29.09.2025

© by the author, licensee University of Lodz – Lodz University Press, Lodz, Poland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license CC BY-NC-ND 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Funding information: Not applicable. **Conflicts of interests:** None. **Ethical considerations:** The Author assures of no violations of publication ethics and takes full responsibility for the content of the publication.

Człowiek na różnych etapach rozwoju w odmienny sposób wykorzystywał zasoby środowiska naturalnego. Postęp technologiczny, w tym rozwój metod uprawy ziemi, wpływał na zmianę presji antropogenicznej oraz umożliwiał eksploatację wcześniej niedostępnych obszarów. We wczesnym średniowieczu podstawą gospodarki była uprawa roli, realizowana przede wszystkim techniką wypaleniskowo-żarową oraz systemem przemienno-odłogowym (Dylik 1971; Kurnatowski 1971; Prygała 1971). Zmiany w charakterze działalności człowieka oddziaływały bezpośrednio i pośrednio na szatę roślinną, prowadząc do deforestacji, a w konsekwencji do przekształceń morfologii stoków. Skutkowało to intensyfikacją procesów erozyjno-akumulacyjnych, przez co powstawały m.in. rozcięcia erozyjne, parowy czy stożki akumulacyjne (Twardy 2008; Piech i in. 2018; Piech 2021; Ginter i in. 2023; Kalicki i Biesaga 2024; Piech i in. 2024).

Antropogeniczne przekształcenia stoków, w tym denudacja agrotechniczna, wpływały również na zmiany w hydrologii obszarów. W wyniku dostarczania osadów do den dolin dochodziło do transformacji systemów rzecznych z jednokorytowych w wielokorytowe, co zaobserwowano m.in. w dorzeczu Warty w epoce brązu i epoce żelaza (Petersen-Zganiacz i Forsyński 2012). Działalność człowieka znacząco kształtowała warunki hydrologiczne rzek środkowoeuropejskich na przestrzeni wieków (Kalicki 2006).

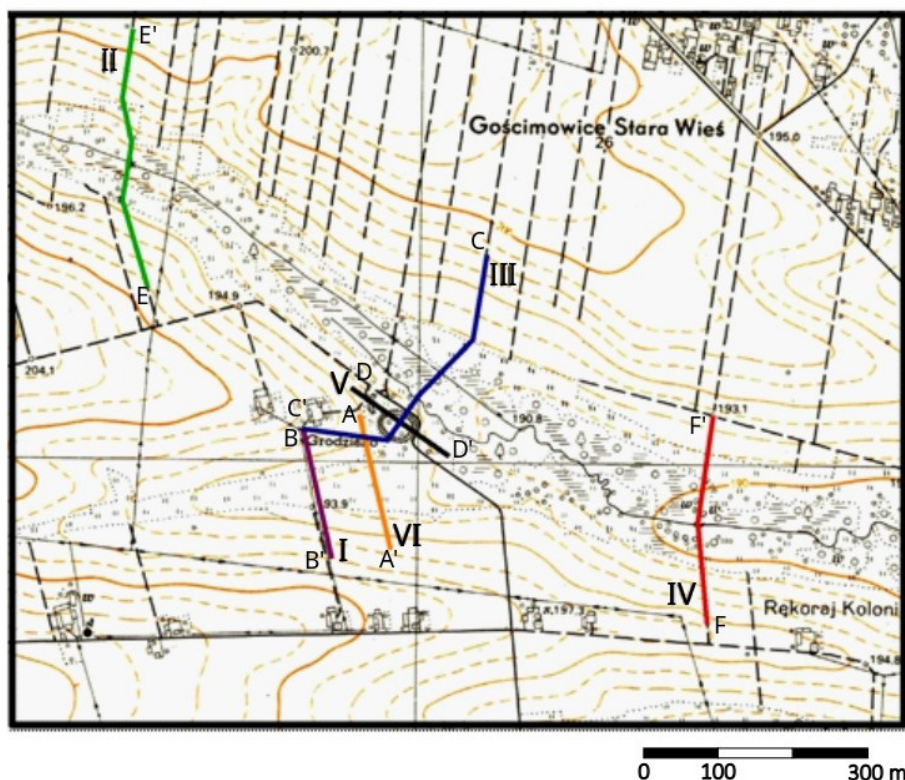
Badania środowiskowe na różnowiekowych stanowiskach stały się nieodłącznym elementem analiz archeologicznych (Buko 2007; Kittel 2012; Kittel i in. 2018a, 2018b, 2018c; Andrzejewski i Sikora 2017; Twardy i in. 2018; Ginter i Piech 2022; Korczyńska-Cappenberg i in. 2023). Regionalna mozaika środowisk, nie tylko

warunkowała dostępność zasobów, lecz także sprzyjała ich zrównoważonemu użytkowaniu i sezonowemu zróżnicowaniu diety dawnych społeczności (Buko 2007; Kittel i in. 2018a, 2018b, 2018c; Korczyńska-Cappenberg i in. 2023; Kalicki i Biesaga 2024). Analiza czynników środowiskowych mających wpływ na lokalizację grodów także była przedmiotem wielu badań geoarcheologicznych (Andrzejewski i Sikora 2017; Piech 2017; Szmoniewski i Włodarczyk 2017; Kittel i in. 2018b; Twardy i in. 2018; Marcinkowski i Szczepaniak 2019; Chudziak i Weinkauff 2023; Litwoch i Szmoniewski 2024).

2. Cele i metody

Celem pracy jest analiza komponentów środowiska przyrodniczego otoczenia grodu w Rękoraju, takich jak: budowa geologiczna, ukształtowanie terenu, stosunki wodne, pokrywa glebowa, a także próba zdefiniowania naturalnych czynników wpływających na lokalizację omawianego grodu wczesnośredniowiecznego.

Badania terenowe utworów powierzchniowych otoczenia grodziska wykonano w oparciu o serię odwiertów przy użyciu ręcznej sondy geologicznej Eijkelkamp, zaopatrzonej w świder Edlmana typu kombi oraz łaski holenderskiej. W wierceniach analizowano osady z dokładnością około 5 cm (dla świda Edlmana) oraz 2 cm (dla łaski holenderskiej). Ogółem wykonano 161 sondowań wzdłuż wyznaczonych sześciu profili badawczych (rys. 1). Odległość pomiędzy kolejnymi wierczeniami w profilach wynosiła przeważnie 10 m, rzadziej 5 m czy 20 m. Większość sondowań osiągnęła głębokość 2,5 m. Ich lokalizacja ustalona została przy użyciu urządzenia GPS RTK.



Rys. 1. Lokalizacja przekrojów geologicznych

Fig. 1. Location of geological cross-sections

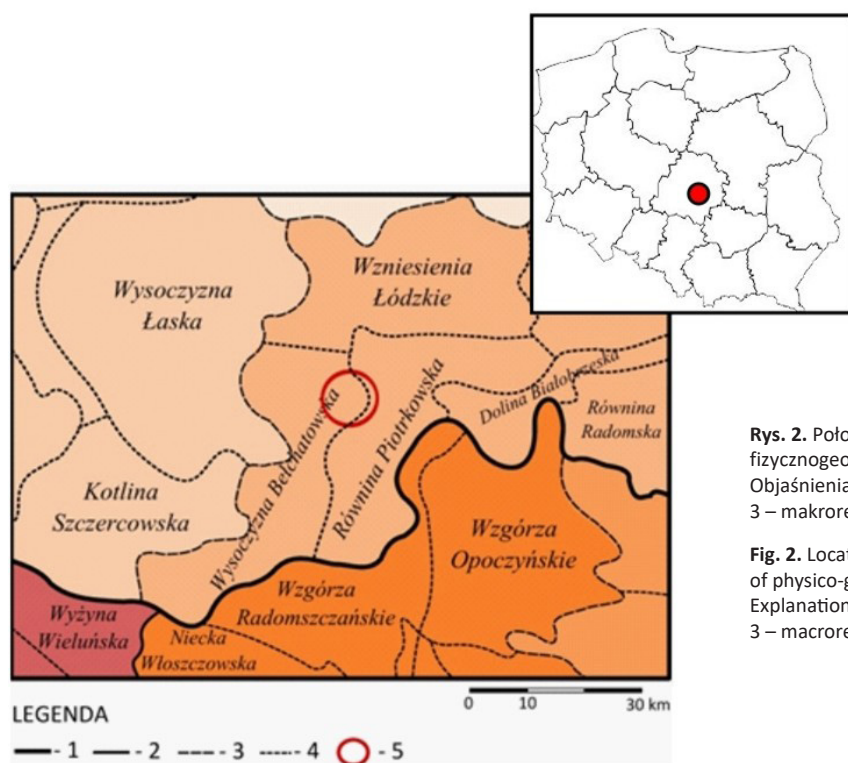
Analiza poszczególnych elementów środowiska polegała na przestudiowaniu dostępnej literatury oraz map tematycznych i topograficznych, w tym archiwalnych. Wykorzystano: Szczegółową Mapę Geologiczną Polski w skali 1:50 000, arkusz Piotrków Trybunalski (Ziomek 1982) oraz arkusz Tuszyn (Turkowska i Wieczorkowska 1992), Mapę Wojskowego Instytutu Geograficznego w skali 1:10 000, arkusz Moszczenica i w skali 1:25 000 arkusz Piotrków Trybunalski, Mapę Szczegółową Polski 1:25 000 /1929–1939/ arkusz Motschenitz oraz Numeryczne Modele Terenu, a także mapy hydrograficzne z zasobów Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej oraz Archeologiczne Zdjęcia Polski (Błaszczak 2000).

Przeprowadzona została także wizja lokalna, w wyniku której powstała dokumentacja fotograficzna. W ramach wizji uszczegółowiono część informacji zawartych w literaturze oraz na mapach.

3. Teren badań

Przeanalizowany został obszar w promieniu 5 km wokół grodziska, tj. o powierzchni około 80 km². Według Kurnatowskiego (1971) zasięg ten odpowiada strefie okupacji, czyli systematycznie penetrowanemu obszarowi przez człowieka w otoczeniu grodów wczesnośredniowiecznych.

Teren badań położony jest w gminie Moszczenica, powiecie piotrkowskim, województwie łódzkim. Od Piotrkowa Trybunalskiego oddalony jest o około 12 km. Według Turkowskiej (2006), grodzisko zlokalizowane jest w Polsce Środkowej i jednocześnie w regionie łódzkim. Na podstawie regionalizacji fizycznogeograficznej Kondrackiego (2002), obszar położony jest na Wysoczyźnie Bełchatowskiej (318.81) oraz na Równinie Piotrkowskiej (318.84) (rys. 2).

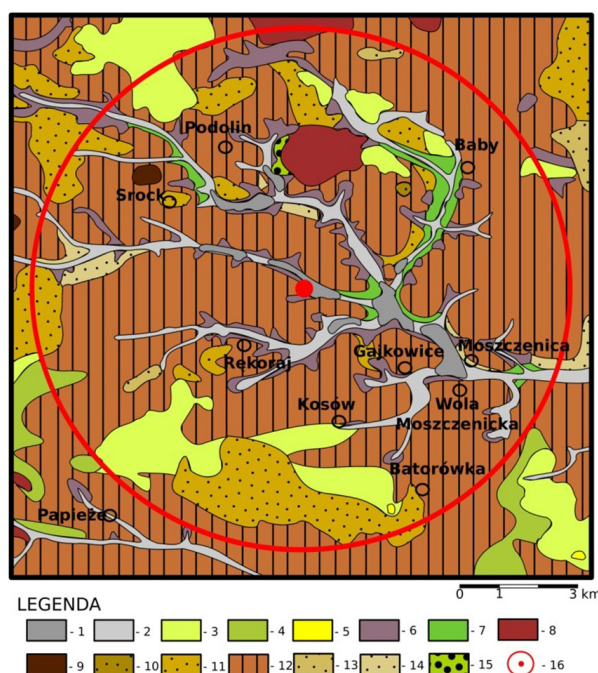


Rys. 2. Położenie obszaru badań na tle jednostek fizycznogeograficznych według Kondrackiego (2002)
Objaśnienia: 1 – granica prowincji, 2 – granice podprovincji, 3 – makroregionów, 4 – mezoregionów, 5 – badany obszar

Fig. 2. Location of the study area against the background of physico-geographical units according to Kondracki (2002)
Explanations: 1 – boundary of province, 2 – subprovince, 3 – macroregions, 4 – mesoregions, 5 – study area

Grodzisko w Rękoraju funkcjonowało od IX wieku do około połowy wieku XII, kiedy to zostało opuszczone. Gród wiązany jest z fazą początkową organizacji terytorialnej typu opolnego. Następnie został on włączony do kasztelanii wolborskiej i pełnił funkcję refugialną. Powierzchnia dwuczłonowej fortyfikacji wynosi 0,66 ha, zaś powierzchnia majdanu to 0,24 ha (rys. 3). W bezpośrednim sąsiedztwie warowni od X do XII wieku funkcjonowała osada otwarta o powierzchni około 0,8 ha (stanowisko 17). Udokumentowano tutaj ślady jam i wykopów oraz liczne fragmenty ceramiki (Szukała 1990; Kittel i in. 2017; Sikora i in. 2017). Obecnie grodzisko jest porośnięte drzewami, a jego stan ulega degradacji w wyniku działalności okolicznej ludności, m.in. poprzez rozjeżdżanie terenu quadami.

Podczas badań przeprowadzonych w latach 1967–1968 i 1971 wyróżniono dwie fazy funkcjonowania fortyfikacji. Pierwsza faza (IX–X w.) została skorelowana z okresem plemiennym, kiedy gród posiadał pojedynczy wał obronny. Druga faza (X w. – druga połowa XII w.) jest łączona z okresem państwowym, wówczas rozbudowano fortyfikację o wał podgrodzia (Chmielowska 1969, 1975; Sikora 2009). Główny wał obronny wznosi się obecnie na wysokość 4–5 m, zaś jego rdzeń stanowi gliniasto-ziemny nasyp. Od strony majdanu wał został wzmocniony szerokim na około 2 m rusztem drewnianym, z kolei od strony zewnętrznej utwardzony został warstwą gliny (Chmielowska 1969, 1975; Sikora i in. 2017).



Rys. 4. Obszar badań na tle powierzchniowej budowy geologicznej (Ziomek 1982; Turkowska i Wieczorkowska 1992, zmienione)

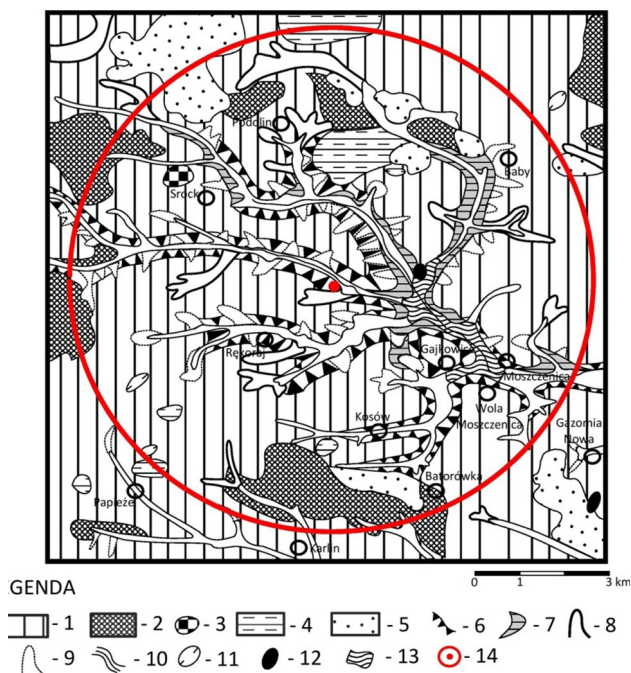
Objaśnienia: Holocen: 1 – torfy, 2 – mułki, piaski i żwiry teras zalewowych, 3 – piaski eoliczne, 4 – piaski eoliczne na glinach zwałowych, 5 – piaski eoliczne w wydymach; Plejstocen, zlodowacenie wisły: 6 – piaski i mułki deluwialne, 7 – mułki, piaski i żwiry rzeczne teras nadzalewowych 0,5–5,0 m n.p. rzeki; zlodowacenie odry, stadiów warty: 8 – piaski, żwiry i gliny moren martwego lodu, 9 – piaski, żwiry i mułki kemów, 10 – piaski i żwiry wodnolodowcowe górne, 11 – piaski i żwiry wodnolodowcowe nie rozdzielone, 12 – gliny zwałowe, 13 – piaski i żwiry wodnolodowcowe górne na glinach zwałowych, 14 – piaski i żwiry wodnolodowcowe dolne; zlodowacenie odry: 15 – piaski i żwiry wodnolodowcowe górne, 16 – lokalizacja grodziska i obszar badań

Fig. 4. Study area against the background of surface geological structure (Ziomek 1982; Turkowska i Wieczorkowska 1992, modified)

Explanations: Holocene: 1 – peat, 2 – silts, sands, and gravels of floodplain terraces, 3 – aeolian sands, 4 – aeolian sands on glacial till, 5 – aeolian sands in dunes; Pleistocene, Vistula glaciation: 6 – deluvial sands and silts, 7 – silts, sands, and gravels of river terraces 0,5–5,0 m above river level; Oder glaciation, Warthe stadial: 8 – sands, gravels, and clays of dead-ice moraine, 9 – sands, gravels, and silts of kames, 10 – upper glaciofluvial sands and gravels, 11 – unstratified glaciofluvial sands and gravels, 12 – glacial till, 13 – upper glaciofluvial sands and gravels on glacial till, 14 – lower glaciofluvial sands and gravels; Oder glaciation: 15 – upper glaciofluvial sands and gravels, 16 – location of the stronghold and study area

3.2. Ukształtowanie terenu

Ziomek (1982) w części południowej badanego obszaru wyróżnił wysoczyznę morenową falistą oraz wysoczyznę morenową płaską. Turkowska i Wieczorkowska (1994) wskazują na występowanie na pozostałym obszarze badań wysoczyzny morenowej. Wysokość tej wysoczyzny sięga 215 m n.p.m. Charakterystyczną jej cechą jest silne rozczłonkowanie powierzchni przez liczne niewielkie doliny rzeczne i doliny denudacyjne o różnym wieku. W efekcie uformowane zostały liczne tzw. cyple/ostrogi wysoczyznowe, do których dobudowane zostały rzeczne terasy akumulacyjne (rys. 5).



Rys. 5. Szkic geomorfologiczny badanego obszaru (Ziomek 1986; Turkowska i Wieczorkowska 1994, zmienione)

Objaśnienia: 1 – wysoczyzny morenowe, 2 – równiny sandrowe i wodnolodowcowe, 3 – kemy, 4 – pagórki morenowe martwego lodu, 5 – równiny piasków przewianych, 6 – zbocza dolin, 7 – terasy akumulacyjne, 8 – suche doliny, 9 – doliny denudacyjne, 10 – dna dolin rzecznych, 11 – zagłębienia bezodpływowe, 12 – ostańce, 13 – równiny torfowe, 14 – grodzisko wraz z badanym obszarem

Fig. 5. Geomorphological sketch of the study area (Ziomek 1986; Turkowska i Wieczorkowska 1994, modified)

Explanations: 1 – moraine uplands, 2 – sandur and glaciofluvial plains, 3 – kames, 4 – dead-ice moraine hills, 5 – dunes/wind-blown sand plains, 6 – valley slopes, 7 – alluvial terraces, 8 – dry valleys, 9 – denudation valleys, 10 – river valley bottoms, 11 – closed depressions, 12 – residual hills, 13 – peat plains, 14 – stronghold and study area

Pagórki sandrowe i wodnolodowcowe tworzą najwyższe kulminacje terenowe na badanym obszarze. Osiągają ponad 230 m n.p.m. i usytuowane są w zachodnim jego fragmencie. Pagórki te występują także w południowej części obszaru zainteresowań (średnia wysokość 210 m n.p.m.) oraz w okolicach Podolina i Bab (wysokość 205–215 m n.p.m.). Wzdłuż dolin rozciągają się vistuliańskie terasy akumulacyjne (Turkowska i Wieczorkowska 1994). Formy te najlepiej wykształcone są w Dopływie z Baniuch oraz w dolinie Moszczanki (rys. 5). Rozległa, jak na lokalne warunki, równina torfowa występuje w obszarze zbiegu dolin rzecznych i ciągnie się w dnie doliny Moszczanki aż po Moszczenicę (rys. 5).

3.3. Sieć wodna

Pod względem hydrologicznym omawiany teren przedzielony jest działem wodnym I rzędu. Biegnie on m.in. przez Borową Górę, Wzgórza Radomszczańskie oraz Pagórki Tuszyńskie. Strefy źródłiskowe cieków występujących na badanym obszarze notowane są przede wszystkim u podnóża pagórków piaszczysto-żwirowych czy kemów. Źró-

dła cechują się niewielkim i powolnym wypływem wód (Maksymiuk 1979).

Dla obszaru Równiny Piotrkowskiej i terenów przyległych charakterystyczny jest reżim rzek typu pluwialno-niwalnego. W półroczu zimowym z obszaru Piotrkowa Trybunalskiego i terenów sąsiednich odpływa średnio rocznie 60,6% wody, zaś w półroczu letnim 39,4% ogólnej masy wody. Średni przepływ wód wynosił dla byłego województwa piotrkowskiego 31,9 m³/s. W zlewni Wolbórki, w tym także Moszczanki, najwyższe stany wód występują w lutym i marcu – przypadają one na okres wiosennych roztopów. Drugie maksimum notowane jest w lipcu i jest związane ze zwiększonymi opadami. W czerwcu i wrześniu obserwowane są niskie stany rzek, które wówczas zasilane są głównie wodami podziemnymi. Na Wolbórze niżówki letnie mogą trwać do 31 dni. Powodzie roztopowe oraz opadowo-rozlewne zdarzają się stosunkowo rzadko, spowodowane jest to regulacją koryt (Maksymiuk 1979; Moszczyńska 1986; Tomaszewski 2007). Dla analizowanego obszaru przeciętny odpływ jednostkowy wynosi 4–5 dm³·s⁻¹·km⁻² (Jokiel 2004).

Cykle wysoczyzn oraz północne stoki Moszczanki budują twory o średniej przepuszczalności. W dolinach rzecznych praktycznie brak jest przepuszczalności osadów, gdyż woda gruntowa zalega tuż przy powierzchni ziemi. W wyższych partiach wysoczyzn notowana jest mała przepuszczalność. Tereny o dużej przepuszczalności zajmują najmniejszą powierzchnię (Moszczyńska 1986). Pierwsza warstwa wodonośna występuje na głębokości 0–2 m i notowana jest głównie w dolinach denudacyjnych, dnach dolin rzecznych oraz rzadko w terasach rzecznych (Turkowska i Wieczorkowska 1994). Na stokach dolin rzecznych zbudowanych z piasków na glinie, horyzont wód gruntowych występuje na głębokości 2–5 m. W zimie wody te mogą zamarznąć, zaś latem wysychają. Wody wierzchówkowe w zlewni Moszczenicy łączą się z aluwialnym poziomem wodonośnym (Moszczyńska 1986).

Grodzisko znajduje się w pasie 500 m od obecnie występującego najbliższego cieku (w linii prostej około 125 m). W systemie radialnym rzek zauważalne jest, iż największą powierzchnię zajmują obszary do 1 km od najbliższego cieku.

3.4. Warunki klimatyczne

Klimat na obszarze badań jest przejściowy z dominującym napływem mas powietrza polarno-morskich i polarno-kontynentalnych. Region Środkowopolski, w którym leży grodzisko, charakteryzuje się przewagą dni o umiarkowanym zachmurzeniu z brakiem opadu (Dubaniewicz 1979; Woś 1999).

W rejonie Piotrkowa Trybunalskiego przeważa zachodni kierunek wiatrów oraz północny i wschodni. Siła wiatru mieści się w przedziale od 2 do 5 m/s (Dubaniewicz 1979; Lorenc 2005). W ciągu roku notuje się około 45 dni pogodnych, natomiast pochmurnych 160–170 dni. W ciągu roku dokumentuje się 1650–1700 godzin usłonecznienia (Dubaniewicz 1979; Lorenc 2005). Suma opadów wynosi

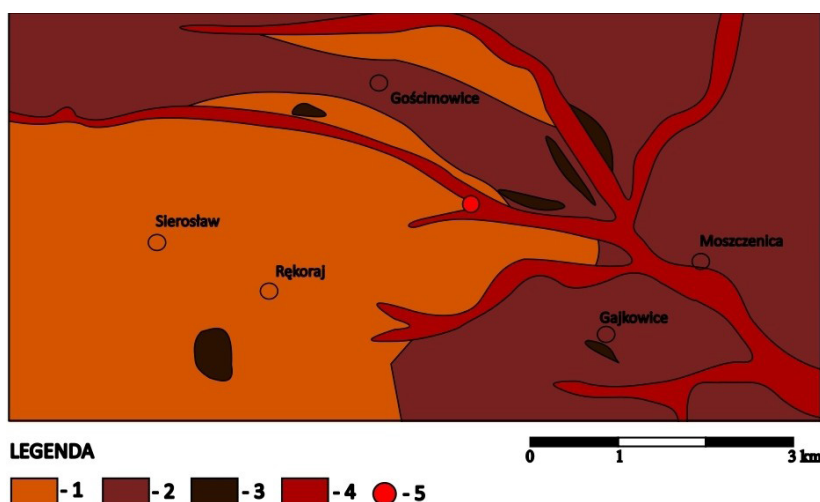
tu 572 mm, przy średniej miesięcznej około 48 mm. Średnia temperatura powietrza w ciągu w roku w Rękoraju wynosi 7,8°C (<https://pl.climate-data.org/europa/polska/%C5%82odz-voivodeship/rekoraj-92608>). Na badanym obszarze zauważa się częste pojawianie mgieł i przygruntowych przymrozków. Tworzą się one z powodu występowania licznych podmokłości oraz płytkiego zalegania wód podziemnych w dolinie Moszczenicy. Dochodzi wówczas do zalegania w dnie doliny wilgotnego i chłodnego powietrza oraz do inwersji temperatury (<http://www.moszczenica.pl>).

Podczas Średniowiecznego Optimum Klimatycznego (około 900–1300 r. n.e.) średnie temperatury dla Europy były wyższe średnio o 0,1–0,2°C (Lamb 1995; Ljungqvist i in. 2012). W torfowisku Żabieniec dla okresu 580–1270 AD odnotowano wzrost średniej temperatury lata o 2°C (Forysiak i in. 2010). W Polsce Środkowej panowały wówczas mniej wilgotne warunki, na co wskazuje obniżenie się poziomu wody w wielu torfowiskach, a także częstsze pożary lasów (por. Forysiak i in. 2010; Forysiak 2012; Czerwiński i in. 2022 – tam dalsza literatura).

3.5. Pokrywa glebowa

Gleby wykształciły się na badanym terenie przede wszystkim na glinach zwałowych i piaskach sandrowych. Na wysoczyznach i ich stokach dominują gleby bielcowe i pseudobielcowe (Klatka 1979; Laskowski 1993) (rys. 6). Gleby pseudobielcowe i bielcowe zajmują rozleglejsze powierzchnie wokół m.in. Rękoraja, Lewkówek, Sierosławia (rys. 6). Gleby wytworzone na piaskach terasowych i obszarach sandrowych cechują się małą miąższością poziomu humusowego. Obszary te w głównej mierze nie są obecnie wykorzystywane rolniczo. Krawędzie teras zostały przemodelowane w wyniku intensywnej i głębokiej orki, przez co zatraciły swą wyrazistość w rzeźbie terenu. Gleby brunatne występują w okolicach Srocka, Gościmowic i Moszczenicy (rys. 6) i odznaczają się dość znaczną ilością próchnicy. Gleby hydrogeniczne lub semihydrogeniczne powstały na utworach stale zasilanych przez wody płynące lub/i płytko występujące wody gruntowe. Występują one w dnach dolin rzecznych oraz ujściowych fragmentach dolin denudacyjnych. Zaliczają się do nich gleby mułowo-torfowe lub gleby torfowe o wysokiej zawartości procentowej organiki (Laskowski 1993). Miejscami gleby te są zapiaszczone, co wskazywałoby na lokalne wezbrania, głównie sprzed działań melioracyjnych. Urodzajne czarne ziemie występują w dnie Dopływu z Wodzina, doliny Moszczanki czy Dopływu z Rękoraja (rys. 6).

W bezpośrednim sąsiedztwie grodziska występują gleby bielcowe i pseudobielcowe, które zlokalizowane są na wysoczyznach i ich stokach. Na północ zalegają gleby brunatne wylugowane i brunatne kwaśne. W dnie doliny Dopływu z Wodzina występują czarne ziemie. Gleby mułowo-torfowe rozciągają się wzdłuż północnej i południowej krawędzi dna Dopływu z Wodzinka oraz w dolinie denudacyjnej na południe od grodziska. Dno doliny wypełnione jest miejscami przez torfy niskie (rys. 6).



Rys. 6. Pokrywa glebowa najbliższego sąsiedztwa grodziska w Rękoraju (<http://geoportal.lodzkie.pl/imap/>)

Objaśnienia:

- 1 – gleby bielcowe i pseudobielcowe
- 2 – gleby brunatne
- 3 – czarne ziemie
- 4 – gleby mułowo-torfowe i torfowe
- 5 – grodzisko

Fig. 6. Soil cover in the immediate vicinity of the stronghold in Rękoraj (<http://geoportal.lodzkie.pl/imap/>)

Explanations:

- 1 – podzolic and pseudopodzolic soils
- 2 – brown soils
- 3 – black earth soils
- 4 – silt-peat and peat soils
- 5 – stronghold

3.6. Pokrywa roślinna

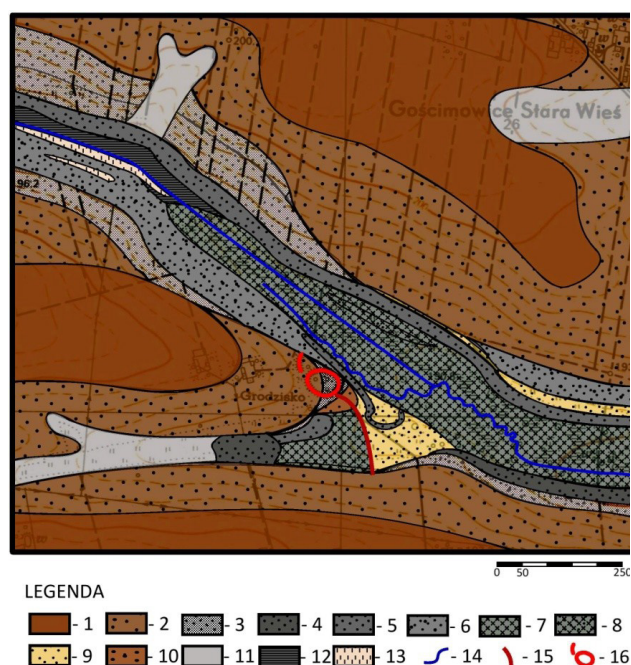
Obecnie lasy zajmują około 15% powierzchni badanego obszaru. Zbiorowiska te występują przeważnie na piaskach sandrowych i są to głównie bory sosnowe. Wśród gatunków drzew porastających doliny rzeczne dominują dęby i olchy, mniej jest wierzb, lip i grabów.

Olsy i łęgi najprawdopodobniej występowały w obszarach den dolin rzecznych w okresie wczesnego średniowiecza, gdzie płytko zlokalizowany był poziom wód gruntowych. Zbiorowiska torfowiskowe i łąkowe występowały w dnach dolin rzecznych oraz w dnach szerszych dolin denudacyjnych. Runo miało wówczas postać mozaikową. Na terasach rzecznych najprawdopodobniej rosły lasy grądowe. Wysoczyzny porośnięte były przez zespoły grądowe (m.in.: z grabem, dębem, bukiem, jodłą), dla których charakterystyczne było zróżnicowanie gatunkowe w runie leśnym (por. Kurowski 1979).

Analizując mapę potencjalnej roślinności (Matuszkiewicz 2008), większość analizowanego terenu zajmowałyby grądy subkontynentalne. Siedliska te znajdują się głównie na wysoczyznach, w zachodnim, południowym oraz centralnym fragmencie badanego obszaru. Seria żywna tych lasów mieści się we wschodnim i południowo-wschodnim fragmencie terenu oraz na cyplu wysoczyzny od Srocka do Gościłowic. W dnach dolin rzecznych występują niżowe łęgi jesionowo-olszowe. Na terenach sandrowych i piaszczystych znajdują się kontynentalne bory mieszane sosnowo-dębowe. Najmniejszą powierzchnię w obrębie 5 km od grodziska zajmują niżowo-wyżynne lasy jodłowe z grabem i dębem (południowo-wschodnia część obszaru).

4. Wyniki

Na opracowanej mapie geologicznej najbliższego otoczenia grodziska (rys. 7) widoczne jest znaczne zróżnicowanie osadów geologicznych budujących dolinę rzeczną i przyległych obszarów wysoczyznowych. Warownia ułożona jest na wąskiej listwie terasowej zbudowanej z piasków średnio- i drobnoziarnistych. Pod nimi występują gliny



Rys. 7. Mapa geologiczna najbliższego otoczenia grodziska (oprac. własne na podstawie odwiertów geologicznych)

Objaśnienia: 1 – glina stadiu Warthe, 2 – piaski gliniaste na glinach, 3 – piaski gliniaste na piaskach średnio- i drobnoziarnistych, 4 – mułki organiczne na piaskach średnio- i drobnoziarnistych, 5 – mułki organiczne zapiaszczone, 6 – mułki zapiaszczone na piaskach średnio- i drobnoziarnistych, 7 – gytia grubodetrytusowa, 8 – gytia grubodetrytusowa na piaskach średnio- i drobnoziarnistych, 9 – piaski średnio- i drobnoziarniste, 10 – piaski średnio- i drobnoziarniste na glinie, 11 – nierozpoznane wierceniami osady deluwialne, 12 – mułki organiczne na piaskach z wkładkami mułku organicznego, 13 – torfy, 14 – rzeka, 15 – grobla (?), 16 – grodzisko

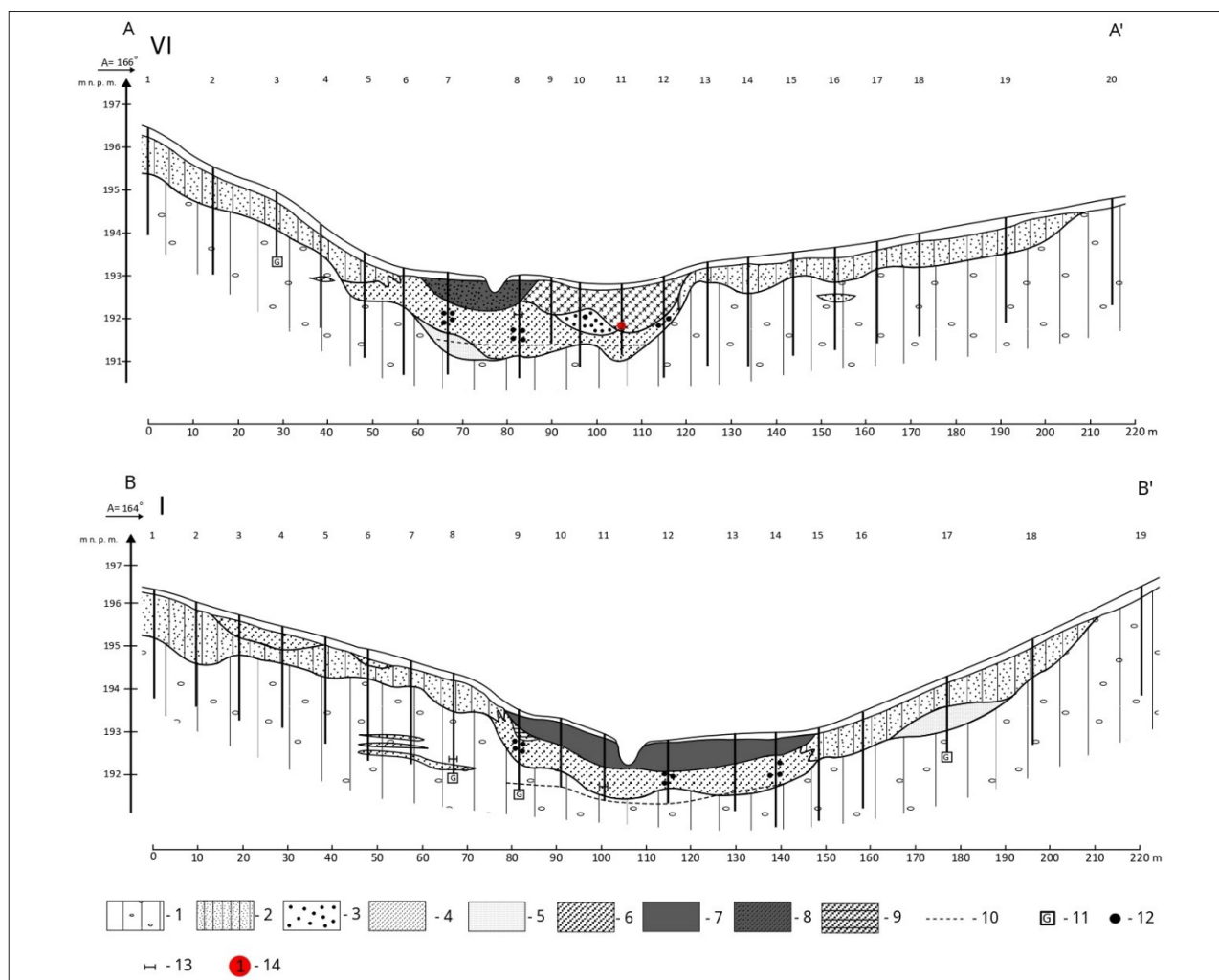
Fig. 7. Geological map of the immediate surroundings of the stronghold based on the author's own geological boreholes

Explanations: 1 – clay of the Warthe stadial, 2 – clayey sands on clay, 3 – clayey sands on medium- and fine-grained sands, 4 – organic silts on medium- and fine-grained sands, 5 – sandy organic silts, 6 – sandy silts on medium- and fine-grained sands, 7 – coarse-detritus gyttja, 8 – coarse-detritus gyttja on medium- and fine-grained sands, 9 – medium- and fine-grained sands, 10 – medium- and fine-grained sands on clay, 11 – deluvial deposits not identified by drilling, 12 – organic silts on sands with lenses of organic silt, 13 – peat, 14 – river, 15 – embankment (?), 16 – stronghold

zwałowe oraz eluvia glin (por. Sikora i in. 2017; Piech 2019). Najprawdopodobniej powierzchnia terasy została częściowo zrównana na potrzeby budowlane. Nowożytna aggradacja osadów pozakorytowych i limnicznych osadów organicznych przyczyniła się do pogrzebienia terasy, która w okresie wczesnośredniowiecznym wyraźniej rysowała się w morfologii. Wschodnie zbocze doliny, na którym ulokowany jest gród, cechuje się silniejszym nachyleniem i przykryte zostało warstwą piasku średnio- i drobnoziarnistego o miąższości do 1 m (rys. 7).

Dno doliny w bezpośrednim sąsiedztwie grodziska jest zbudowane z aluwii o miąższości do 2,5 m i stanowią je piaski różnoziarniste z detrytusem roślinnym facji korytovej oraz przewarstwieniami mułków organicznych (rys. 7). Paleokoryta występujące w bezpośrednim sąsiedztwie fortyfikacji są wypełnione gytą oraz torfem. Rozmiary tych form dowodzą znacznych parametrów (szerokości i głębokości) koryta rzecznego w przeszłości.

Sucha dolina denudacyjna znajdująca się po południowej stronie grodziska wypełniona jest w spągu przez piaski różnoziarniste, miejscami mułkowe deluwialne (rys. 8). Piaski z przewarstwieniami mułków organicznych, miejscami zapiaszczonych, budują serię stropową wypełnienia tej formy. W ujściowym fragmencie doliny występuje gytia grubodetrytusowa o miąższości do 1 m. Spąg gytii grubodetrytusowej wydатовany został na 3890 ± 50 lat BP (MKL-3014) (przekrój VI, odwiert 11, głębokość 110 cm) – rys. 8. Na południowy wschód od grodziska, w miejscu łączenia się suchej doliny z doliną Doptywu z Wodzinka, udokumentowano piaski pozakorytowe z przewarstwieniami mułków organicznych. Akumulacja tych osadów była skutkiem wdzierania się wód wezbraniowych w obręb suchej doliny denudacyjnej (por. Sikora i in. 2017; Piech 2019).



Rys. 8. Przekroje geologiczne I i VI zlokalizowane w dolinie denudacyjnej. Utwory geologiczne: 1 – glina zwałowa, 2 – piasek gliniasty, 3 – piasek gruboziarnisty, 4 – piasek średnio- i drobnoziarnisty, 5 – piasek drobnoziarnisty pylasty, 6 – gytia grubodetrytusowa, 7 – mułki organiczne, 8 – mułki organiczne zapiaszczone, 9 – piaski średnioziarniste z wkładkami mułku organicznego; inne elementy środowiska geograficznego: 10 – poziom wód gruntowych, 11 – głaz, 12 – żwir, 13 – fragmenty drewna; Datowania: 14 – próbki do badań ^{14}C

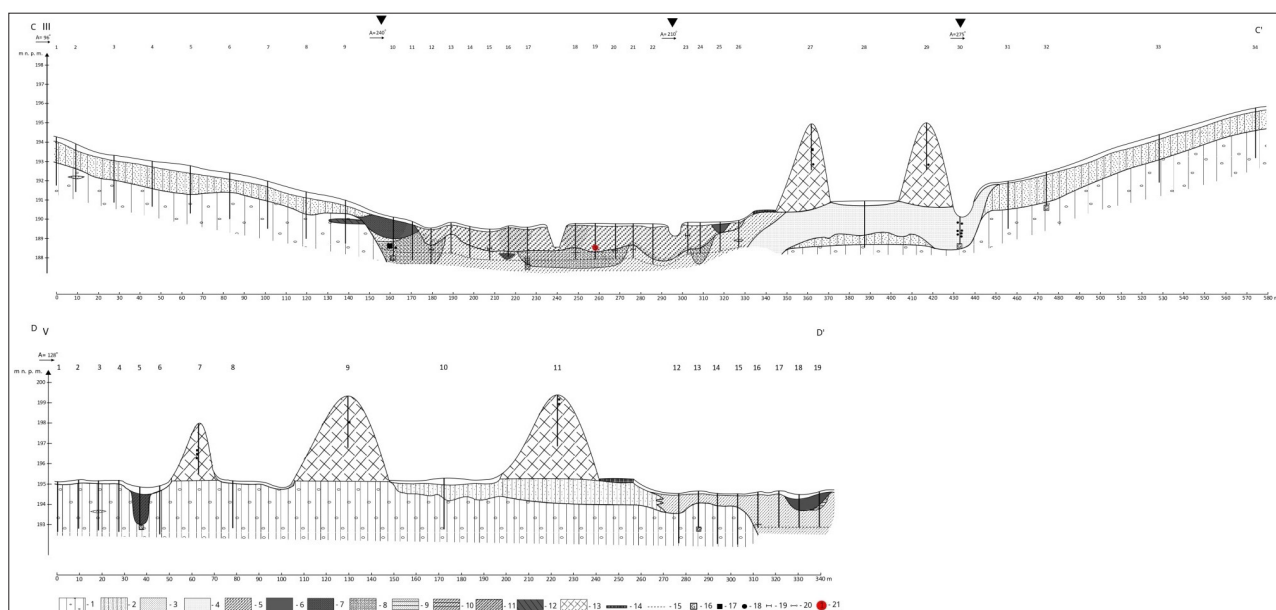
Fig. 8. Geological cross-sections I and VI located in the denudation valley. Geological deposits: 1 – glacial till, 2 – clayey sand, 3 – coarse-grained sand, 4 – medium- and fine-grained sand, 5 – fine silty sand, 6 – coarse-detritus gyttja, 7 – organic silts, 8 – sandy organic silts, 9 – medium-grained sands with lenses of organic silt; other environmental features: 10 – groundwater level, 11 – boulder, 12 – gravel, 13 – wood fragments; Dating: 14 – samples for ^{14}C analysis

Serie pozakorytowe budują współczesne dno doliny Dopytywu z Wodzinka w strefie stropowej (Sikora i in. 2017; Piech 2019). Udokumentowane wierceniami osady organiczne akumulowane były najprawdopodobniej podczas wezbrań w obrębie dna doliny oraz w obszarze antropogenicznego zbiornika wodnego. Wiek tych serii określono radiowęglowo na 290 ± 50 (MKL-3013), co wskazuje na nowożytną akumulację tych osadów (Sikora i in. 2017). Najprawdopodobniej w przeszłości terasa, na której ulokowany był gród, wyraźniej rysowała się w morfologii doliny, zaś szerokość dna była mniejsza (por. Piech 2017, 2019).

Dno doliny w sąsiedztwie grodziska (przekrój III) budują w stropie osady organiczne, głównie silnie rozłożone torfy, namuły torfiaste i gytie grubodetrytusowe, miejscami zapiaszczone o miąższości dochodzącej do 2 m (rys. 9). Osady te podścielone są piaskami średnio- i drobnoziarnistymi, miejscami z detrytusem. W brzeżnych partiach dna doliny akumulowane były mułki organiczne zapiaszczone, co świadczy o dostawie deluwii ze stoku. Mułki te osiągają miąższość do 1 m. W przekroju IV obejmującym ujściowy fragment doliny Dopytywu z Wodzinka, udokumentowano występowanie w dnie doliny piasków średnio- i drobnoziarnistych, rzadziej piasków z detrytusem (w obrębie których występują liczne fragmenty drewna i żwiru o średnicy do 2 cm) czy piasków gruboziarnistych. Współczesne dno doliny wypełnione jest gytia grubode-

trytusową przechodzącą u podnóży zboczy w mułki organiczne. Osady te są miejscami zapiaszczone, a ich miąższość waha się od 1 m do około 2 m.

Największa różnorodność osadów występuje w przekroju II, gdzie zidentyfikowane zostały osady terasy późnovistuliańskiej. W spągu terasę budują beżowe piaski średnio- i drobnoziarniste, zaś w stropie płowe piaski drobnoziarniste pylaste. Gleby kopalne (zapiaszczone), o miąższości do 50 cm, zaobserwowano wyłącznie na terasach (rys. 10). W przekroju II w utworach piasków średnio- i drobnoziarnistych zidentyfikowano sporych rozmiarów rozcięcie (odwierty nr od 16 do 21), które wypełnione jest osadami biogenicznymi (mułkami organicznymi, w tym zapiaszczonymi, gytia grubodetrytusową, torfem) oraz osadami facji korytowej (piaskami z wkładkami mułku organicznego, piaskami gruboziarnistymi i piaskami z detrytusem roślinnym) (rys. 10). Jest to dużych rozmiarów kopalne paleokoryto o nieznanym, prawdopodobnie późnovistuliańskim wieku. Paleokoryta tego typu udokumentowano również w innych przekrojach (przekrój V, odwiert nr 18 i 19 oraz przekrój IV, odwiert nr 25, 26 i 27). Wypełnione są one najczęściej mułkami organicznymi (czasem zapiaszczonymi) i sąsiadują z piaskami z wkładkami mułku organicznego i domieszkami detrytusu roślinnego odsypów meandrowych.

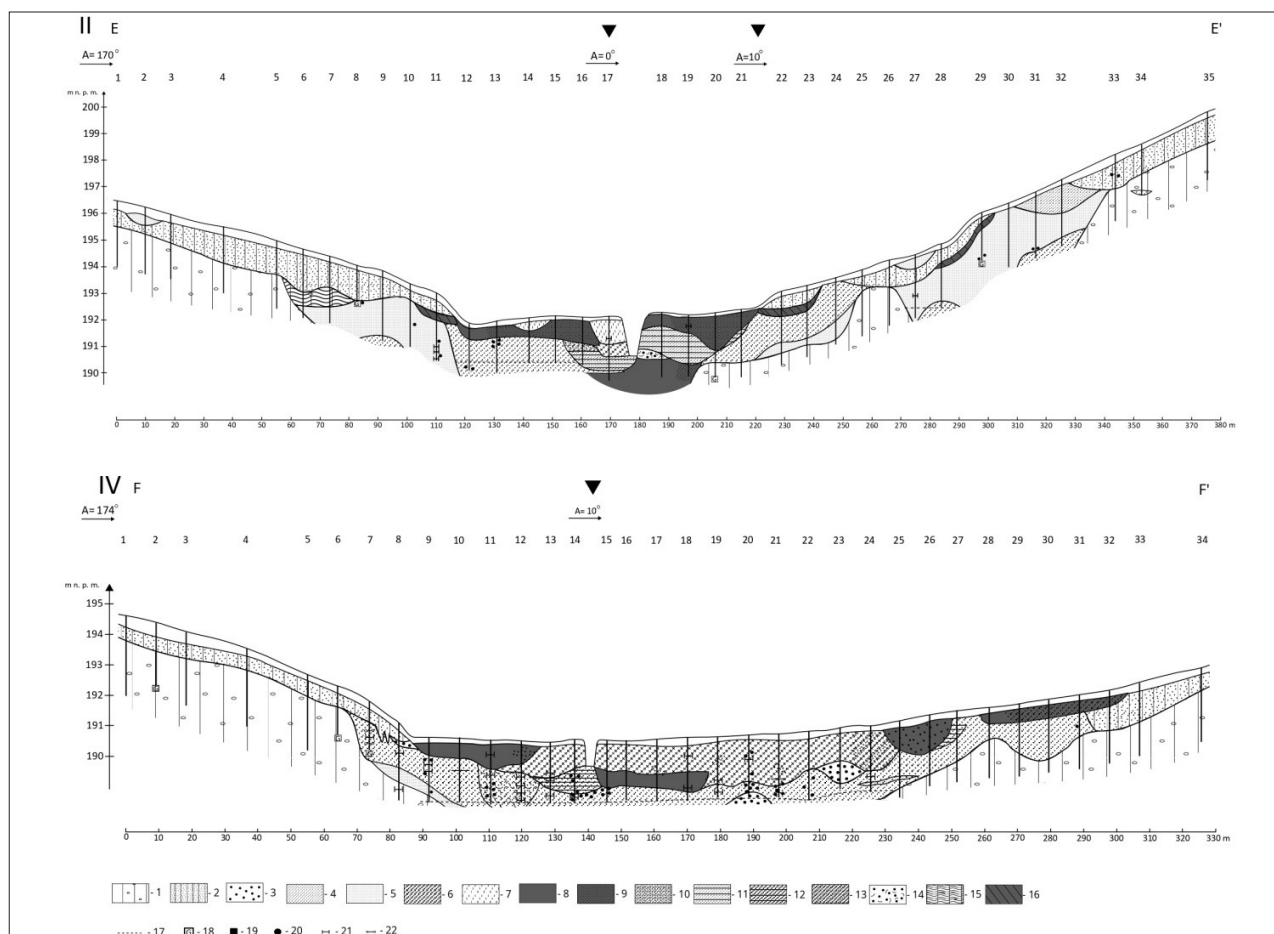


Rys. 9. Przekroje geologiczne III i V przechodzące przez grodzisko w Rękoraju

Utwory geologiczne: 1 – glina zwałowa, 2 – piasek gliniasty, 3 – piasek średnio- i drobnoziarnisty, 4 – piasek drobnoziarnisty pylasty, 5 – gytia grubodetrytusowa, 6 – mułki organiczne, 7 – mułki organiczne zapiaszczone, 8 – piaski średnioziarniste z detrytusem roślinnym, 9 – piaski średnioziarniste z wkładkami mułku organicznego, 10 – gytia grubodetrytusowa z mułkami organicznymi, 11 – gytia grubodetrytusowa zapiaszczona, 12 – gleba kopalna, 13 – nasyp grodziska; Inne elementy środowiska geograficznego: 14 – droga, 15 – poziom wód gruntowych, 16 – głaz, 17 – węgle drzewne, 18 – żwir, 19 – fragmenty drewna, 20 – wkładki gliny; Datowania: 21 – próbki do badań ^{14}C

Fig. 9. Geological cross-sections III and V passing through the stronghold in Rękoraj

Geological deposits: 1 – glacial till, 2 – clayey sand, 3 – medium- and fine-grained sand, 4 – fine silty sand, 5 – coarse-detritus gyttja, 6 – organic silts, 7 – sandy organic silts, 8 – medium-grained sands with plant detritus, 9 – medium-grained sands with lenses of organic silt, 10 – coarse-detritus gyttja with organic silts, 11 – sandy coarse-detritus gyttja, 12 – paleosol, 13 – stronghold embankment; Other environmental features: 14 – road, 15 – groundwater level, 16 – boulder, 17 – charcoal, 18 – gravel, 19 – wood fragments, 20 – clay lenses; Dating: 21 – samples for ^{14}C analysis



Rys. 10. Przekroje geologiczne II i IV zlokalizowane w górnym i dolnym fragmencie doliny Dopytyw z Wodzinka

Utwory geologiczne: 1 – glina zwałowa, 2 – piasek gliniasty, 3 – piasek gruboziarnisty, 4 – piasek średnio- i drobnoziarnisty, 5 – piasek drobnoziarnisty pylasty, 6 – gytia grubodetrytusowa, 7 – torf, 8 – mułki organiczne, 9 – mułki organiczne zapiaszczone, 10 – piaski średnioziarniste z detrytusem roślinnym, 11 – piaski średnioziarniste z wkładkami mułku organicznego, 12 – gytia grubodetrytusowa z mułkami organicznymi, 13 – gytia grubodetrytusowa zapiaszczona, 14 – piasek gruboziarnisty z detrytusem roślinnym, 15 – koluwium, 16 – gleba kopalna; Inne elementy środowiska geograficznego: 17 – poziom wód gruntowych, 18 – głaz, 19 – węgle drzewne, 20 – żwir, 21 – fragmenty drewna, 22 – wkładki gliny

Gród w Rękoraju został zlokalizowany w dolinie Dopytyw z Wodzinka, która uformowana została w obrębie warciańskiej doliny wód roztopowych. Całkowita długość doliny wynosi około 11 km (górny fragment wychodzi poza obszar opracowania), zaś jej spadek wynosi 4,5%. Wcina się ona w wysoczyznę na około 10 m w okolicach Srocka. Na tym odcinku szerokość formy wynosi około 400 m.

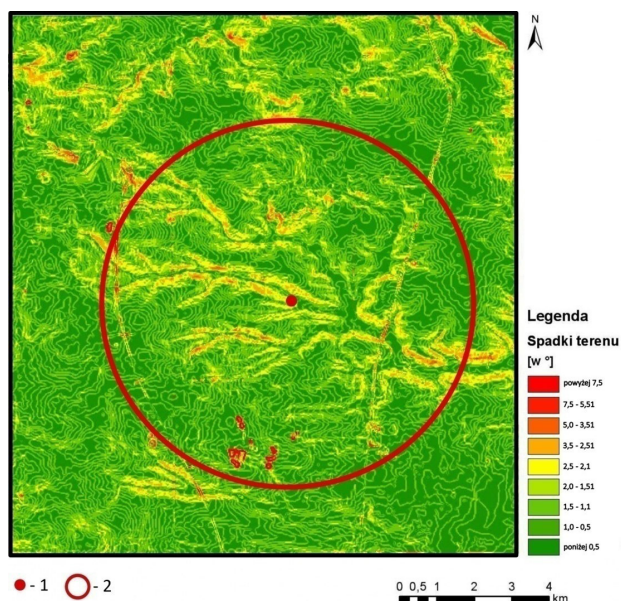
W okolicach grodziska różnica wysokości pomiędzy dnem doliny a okolicznymi kulminacjami wysoczyzn wynosi około 8 m przy szerokości doliny 500 m, zaś przy ujściu około 7 m, przy szerokości 550 m. Do doliny, przy której zlokalizowane jest grodzisko, uchodzą liczne niewielkie doliny denudacyjne oraz kilka większych suchych dolin. Doliny denudacyjne są słabo rozwinięte, a ich długości nie przekraczają kilkuset metrów. Ich szerokość wynosi średnio około 50 metrów. Suche doliny są wyraź-

Fig. 10. Geological cross-sections II and IV located in the upper and lower parts of the Dopytyw z Wodzinka valley

Geological deposits: 1 – glacial till, 2 – clayey sand, 3 – coarse-grained sand, 4 – medium- and fine-grained sand, 5 – fine silty sand, 6 – coarse-detritus gyttja, 7 – peat, 8 – organic silts, 9 – sandy organic silts, 10 – medium-grained sands with plant detritus, 11 – medium-grained sands with lenses of organic silt, 12 – coarse-detritus gyttja with organic silts, 13 – sandy coarse-detritus gyttja, 14 – coarse-grained sand with plant detritus, 15 – colluvium, 16 – paleosol; Other environmental features: 17 – groundwater level, 18 – boulder, 19 – charcoal, 20 – gravel, 21 – wood fragments, 22 – clay lenses

niej zaznaczone w rzeźbie. Ich długości osiągają niekiedy 4 km, przy szerokości kilkuset metrów (rys. 11).

Na analizowanym obszarze dominują spadki terenu o wartościach od 1° do 2° (rys. 11). Dopytyw z Wodzin-ka, przy którym położone jest grodzisko, odznacza się najwyższymi średnimi spadkami. Wartości oscylują tu między 2 a 5°. Spadki mieszczące się w przedziale 2–3,5° notuje się w dolinie Dopytyw z Rękoraju i w dolinie Moszczenicy. Podobne wartości zauważyć można także w okolicach Moszczenicy na stokach o ekspozycji południowej w obrębie doliny rzecznej. Dostrzegalna jest tendencja wyższych wartości spadku w górnym biegu dolin, zaś przy ich dolnych fragmentach wartości się obniżają. Grodzisko ulokowane jest na stoku, który jest nachylony pod kątem 2–2,5°.



Rys. 11. Badany obszar na tle mapy spadków terenu
Objaśnienia: 1 – grodzisko, 2 – obszar badań

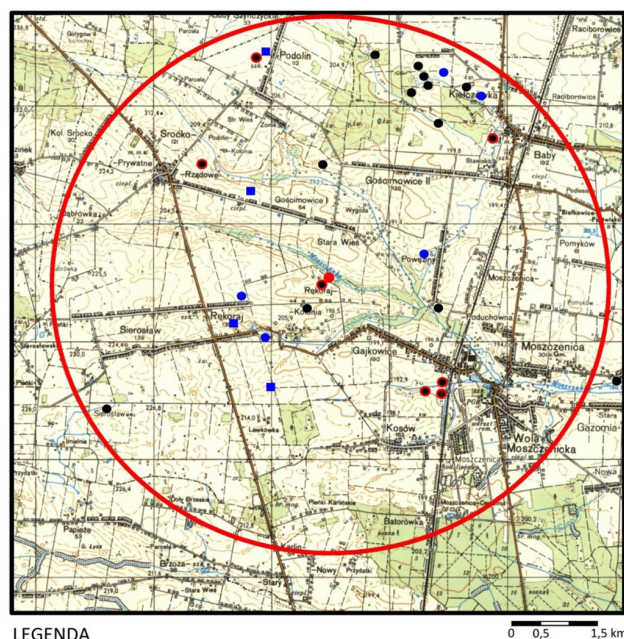
Fig. 11. Study area against the background of the slope map
Explanations: 1 – stronghold, 2 – study area

4.1. Zarys osadnictwa na badanym obszarze

Na badanym terenie znajduje się w sumie 27 jednostek osadniczych datowanych na okres wczesnego i późnego średniowiecza (nie licząc grodziska) (rys. 12). Na mapach AZP (Błaszczak 2000) zlokalizowano 7 osad wczesnośredniowiecznych, 11 śladów osadniczych ze wczesnego średniowiecza, 5 śladów osadniczych z okresu wczesne średniowiecze – późne średniowiecze oraz 4 punkty osadnicze z okresu wczesne średniowiecze – późne średniowiecze.

Osadnictwo na analizowanym terenie preferowało zbocza o nachyleniu od 1 do 3,5° (rys. 11, 12). W zachodniej, wschodniej i południowej części analizowanego terenu nie zostały udokumentowane wczesnośredniowieczne stanowiska archeologiczne (rys. 12). Są to obszary występowania piasków eolicznych, gliniastych wysoczyzn oraz piasków i żwirów wodnolodowcowych (rys. 4) które nie były dogodnymi siedliskami dla ludności dla tego okresu historycznego, zwłaszcza jeśli występują w centrum rozległych wysoczyzn i daleko od cieków (rys. 5) (Kurnatowski 1971; Sikora i in. 2013–2015; Twardy i in. 2018).

Do niekorzystnych cech tych obszarów należy zaliczyć głębsze występowanie wód gruntowych, trudne warunki dla prowadzenia orki (gliniaste wysoczyzny), szybką infiltrację (obszar piasków) oraz większe nachylenia terenu. Interesujące jest, iż wokół obecnej równiny torfowej, mimo występowania teras rzecznych, cypli wysoczyzn, małych spadków terenu (2–2,5°) oraz występowaniem dolin denudacyjnych pozwalających eksploatować wyższe partie wysoczyzn, obszar ten był słabo zamieszkały (rys. 12). Spowodowane mogło być to utrudnionym dostępem do wody poprzez bagna występujące na tym obszarze lub brakiem dostatecznego rozpoznania archeologicznego.



Rys. 12. Lokalizacja jednostek osadniczych we wczesnym średniowieczu na obszarze badań (opracowanie własne na podstawie Błaszczak, 2000)
Objaśnienia: 1 – grodzisko, 2 – osada wczesnośredniowieczna, 3 – ślad osadniczy wczesnośredniowieczny, 4 – ślad osadniczy wczesnośredniowieczny – późne średniowiecze, 5 – punkt osadniczy wczesnośredniowieczny – późne średniowiecze

Fig. 12. Location of settlement units in the Early Middle Ages within the study area (author's own elaboration based on Błaszczak, 2000)
Explanations: 1 – stronghold, 2 – Early Medieval settlement, 3 – Early Medieval settlement trace, 4 – settlement trace, Early Middle Ages – Late Middle Ages, 5 – settlement point, Early Middle Ages – Late Middle Ages

5. Dyskusja

Osadnictwo wczesnośredniowieczne jest ściśle związane z siecią rzeczną, co jest typowe dla Niżu Polskiego (Prygała 1971; Kurnatowski 1968, 1971; Chmielowska 1975; Papińska 2004; Kittel 2012, 2013). Taką zależność również odnotowano na badanym obszarze. Jednostki osadnicze znajdują się najczęściej w strefie do 500 m od cieku, w dnach dolin rzecznych lub w ich bliskim sąsiedztwie (rys. 11). Stanowiska sporadycznie wkraczają na wysoczyzny i wówczas występują przeważnie w sąsiedztwie dolin denudacyjnych. Ludność w tym okresie chętnie osiedlała się na piaskach eolicznych oraz na piaskach i żwirach wodnolodowcowych, występujących w pobliżu cieku, a także na terasach rzecznych (np. skupisko osadnicze przy wsi Kiełczówka).

W Polsce Środkowej i obszarach sąsiednich najdogodniejszym miejscem do lokowania jednostek osadniczych były terasy rzeczne oraz zbocza dolin o nachyleniu nieprzekraczającym 3°. Taki schemat zauważalny jest co najmniej od czasów osadnictwa ludności kultury łużyckiej (Kurnatowski 1968; Prygała 1971; Kittel 2012; Twardy 2013). Jak wskazuje Kittel i in. (2017) jedynie 14% obszaru o promieniu 5 km wokół grodziska było widoczne z pozycji fortyfikacji, zaś pozostała część była zasłonięta przez inne

formy terenu. Terasy rzeczne wybierano pod zasiedlenie, gdyż zbudowane są z piasków średnio- i drobnoziarnistych, które mogły być łatwo modelowane. Kolejnym czynnikiem była ułatwiona infiltracja wód opadowych i roztopowych, zaś niewielkie nachylenie nie pozwalało na stagnowanie wody na obszarze osady (Prygała 1971; Kittel 2012).

Zakładanie grodów w dolinach rzek było związane także z rozrzedzeniem pokrywy leśnej w tym obszarze, co sprzyjało prowadzeniu szlaków komunikacyjnych (Dylik 1971). Osady lokalizowano głównie na terasach o wyraźnej krawędzi w stosunku do dna doliny oraz na tzw. cyplach lub ostrogach wysoczyzn, co zapewniało ochronę przed wodami wezbraniowymi, a jednocześnie miało istotne znaczenie obronne (Prygała 1971; Twardy 2013; Piech 2017; Twardy i in. 2018; Marcinkowski i Szczepaniak 2019; Podgórski i in. 2021; Zamelska-Monczak i in. 2021). Podobna sytuacja występuje w przypadku grodziska w Rękoraju, gdzie pierwotny poziom majdanu wznosił się około 1,5 m ponad ówczesne dno doliny. Warto zwrócić uwagę, że aż 22% badanego obszaru zajmują stoki i doliny denudacyjne (Kittel i in. 2017). Gród w Rękoraju został posadowiony na stoku o nachyleniu 2° – $2,5^{\circ}$, co wpisuje się w wybieranie przez dawne społeczności zboczy o niewielkim nachyleniu (Prygała 1971; Zawadzka-Pawlewska 2017; Twardy i in. 2018).

Pod względem hydrograficznym lokalizacja grodu w Rękoraju była także korzystna. W bezpośrednim sąsiedztwie grodziska przebiegało koryto rzeczne, które zostało rozpoznane za pomocą przeprowadzonych badań geologicznych (rys. 6). Wodę można było pobierać także ze studni sięgających poziomów międzyglinowych z głębokości około 2 m. Prawdopodobnie wysokie opady w okresie funkcjonowania grodu (okres Średniowiecznego Optimum Klimatycznego) sprzyjały wysokiemu poziomowi wód gruntowych. Powodowały one rozległe wezbrania dna doliny w czasie przed IX w. oraz po XI w. (Moberg i in. 2005; Mann i in. 2009; Marks 2016). Podmokłe dno doliny wraz z korytem rzecznym zapewniało grodowi naturalną obronność od strony północnej, północno-wschodniej i wschodniej oraz od strony południowej (ujście suchej doliny denudacyjnej). Rzeka mogła pełnić również funkcję komunikacyjną w skali lokalnej i regionalnej (por. Zamelska-Monczak i in. 2021). Część grodzisk była lokowana w obrębie niewielkich dolin rzecznych, które zapewniają m.in. lepsze naturalne zdolności obronne (por. Sikora i in. 2017; Twardy 2018; Zamelska-Monczak i in. 2021).

Rozmieszczenie kompleksów roślinności potencjalnej pozwala na wstępną rekonstrukcję szaty roślinnej, która mogła dominować na omawianym obszarze. Lokalną bazę żywnościową dla zbieractwa stanowiły dominujące lasy grądowe. Pozyskiwano z nich m.in. orzechy, grzyby, żółędzie, dzikie maliny i jeżyny, jagody. Runo leśne tego kompleksu służyło także jako pastwisko, gdyż zawierało liczne zioła oraz trawy, co stanowiło bogatą paszę dla bydła. Wskazana różnorodność runa leśnego przyciągała ponadto dziką zwierzynę, przez co mogło rozwijać się myślistwo. Na terenie łągów i bagien występował m.in. szczaw, czeremcha i chmiel, natomiast ze zwierząt ptactwo wodne,

a w rzekach ryby, raki i małże. Opisane siedliska cechują się wysoką bioróżnorodnością, co wiąże się z ich wysoką użytecznością dla różnych form użytkowania. Już od wcześniejszych okresów najintensywniej eksploatowano lasy łągowe oraz dębowo-grabowe (Kurnatowski 1968; Bartkowski 1978). O selektywnym wyborze drewna wskazuje również gwałtowny spadek udziału grabu w okresie VIII–X w., kiedy to nastąpił wzrost liczby wczesnośredniowiecznych grodów. Grab służył do ogrzewania domostw oraz był wykorzystywany do tworzenia różnego rodzaju narzędzi (Czerwiński i in. 2022 – tam dalsza literatura). Człowiek wczesnośredniowieczny wybierał selektywnie rodzaj drewna do wytwarzania określonych narzędzi, np. drewniane meble/narzędzia wykonywane były z dębu i sosny odznaczających się dużą twardością i wytrzymałością, zaś drewno miękkie i wytrzymałe (olcha, klon) wykorzystywano do produkcji wytworów toczonych (Cywa 2015).

W Polsce Środkowej wylesianie rozpoczęło się już w VIII–IX wieku (Czerwiński i in. 2022 – tam dalsza literatura). W stropowej części torfowiska Napoleonów (oddalonego od Rękoraja o około 30 km na południowo-zachód), która częściowo odpowiada okresowi wczesnego średniowiecza, odnotowano wzrost sumy NAP do 21%. Udokumentowano tutaj także wzrost udziału pyłku zbóż, szczawiu i traw (Forysiak 2012 – tam dalsza literatura). Podobne zmiany zaszły w torfowisku Żabieniec (stanowisko oddalone jest o około 40 km na północno-wschód od Rękoraja). W osadach datowanych na okres wcześniejszy niż IX w. udokumentowano znaczny udział grabu w drzewostanie (Balwierz 2010). Z kolei w serii datowanej na IX–X w., zanotowano wzrost udziału NAP do 20% (Forysiak 2012). Od IX wieku stopniowo wzrastał udział pyłku roślin powiązanych z działalnością człowieka. W serii datowanej na około XIII–XIV w. odnotowano dużą reprezentację roślin uprawnych i ruderalnych oraz najniższą wartość sumy AP w całym profilu (Balwierz 2010; Forysiak 2012).

We wczesnym średniowieczu zaczęto uprawiać gleby brunatne i bielice, co doprowadziło do nasilonej deforestacji terenów położonych coraz wyżej względem den dolin rzecznych. Jednocześnie podczas Średniowiecznego Optimum Klimatycznego w dolinach panowały lepsze warunki do uprawy zbóż. Następową wówczas coraz większa dewastacja środowiska polegająca na deforestacji zboczy, co z kolei skutkowało uruchomieniem procesów erozyjnych na stokach (por. Kurnatowski 1968; Piech 2021; Piech i in. 2024). Gród w Rękoraju został zlokalizowany w pobliżu łatwych w uprawie i żyznych czarnych ziem oraz gleb hydro- i semihydrogenicznych występujących w dnie doliny Dopytywu z Wodzinka. Gleby brunatne oraz bielice mogły być już uprawiane na niewielkim obszarze (por. Piech 2019). We wczesnym średniowieczu pod uprawę wybierano także gleby lekkie powstałe na terasowych piaskach średnio- i drobnoziarnistych (Kurnatowski 1968, 1971; Prygała 1971; Goździk 1982; Twardy i in. 2018). Dawnemu osadnictwu sprzyjała zawartość pyłu w glebie powyżej 12% (Zawadzka-Pawlewska 2017). W wierceniach uchwycono występowanie gleb kopalnych znajdujących się bez-

pośrednio na terasach późnovistuliańskich, które to gleby potencjalnie mogą pochodzić z tego okresu. Kittel (2013) i Twardy (2013) odnotowali mniejszą szkieletowość gleb powstałych na utworach piaszczystych i piaszczysto-mułkowych w dolinach denudacyjnych. Taka struktura cechuje się większą wilgotnością oraz ułatwia prowadzenie agrotechniki. Nie można zatem wykluczyć, iż obszar doliny denudacyjnej położonej na południe od grodziska był w przeszłości wykorzystywany rolniczo.

Mniejsze nachylenia stoków mogły stanowić dodatkowe ułatwienie dla prowadzenia upraw ornych. Obszary cechujące się najwyższą przydatnością dla tzw. agrotechniki lekkiej obejmują 40,8% powierzchni w promieniu 500 metrów od grodziska, a w promieniu 1000 metrów – 39,5% (Piech 2017). Dane te sugerują istnienie szczególnie korzystnych warunków do prowadzenia intensywnej działalności gospodarczej bezpośrednio wokół grodu w Rękoraju (Piech 2017, 2019). Można przypuszczać, że wczesnośredniowieczna gospodarka rolna na badanym obszarze koncentrowała się głównie na wykorzystaniu suchych dolin, den dolin oraz teras rzecznych (por. Piech 2017, 2019). Warto też zaznaczyć, że gliny zwałowe, które były trudne w uprawie w okresie wczesnego średniowiecza, zajmują aż 62% badanego całego obszaru (Kittel i in. 2017). Wysoki stopień georóżnorodności i towarzysząca jej bioróżnorodność były czynnikami kluczowymi dla trwałości pradziejowych systemów osadniczych i gospodarczych (Korczyńska-Cappenberg i in. 2023).

Ekspozycja terenu może odgrywać istotną rolę w kształtowaniu sieci osadniczej, wpływając na mikroklimat, dobową amplitudę temperatur oraz zmienność wilgotności (Podgórski i in. 2021). Potwierdzają to także badania Zawadzkiej-Pawlewskiej (2017), w trakcie których udokumentowano, że osadnictwo wczesnośredniowieczne preferowało stoki o ekspozycji południowej i południowo-wschodniej, gdzie dostawa promieniowania słonecznego jest największa. Predysponowane do lokalizacji grodzisk były również obszary zawietrzne (Podgórski i in. 2021). Grodzisko w Rękoraju zostało zlokalizowane na stoku o ekspozycji południowo-wschodniej na obszarze zawietrznym. W promieniu 5 km wokół grodziska 33% obszaru ma ekspozycję południową (Kittel i in. 2017), co mogło korzystnie wpływać na potencjalne uprawy.

Okres funkcjonowania grodu pokrywa się z trwaniem Średniowiecznego Optimum Klimatycznego. Podczas ŚOK wydłużył się sezon wegetacyjny, co sprzyjało rozwojowi rolnictwa, zwiększało stabilność zasobów żywnościowych oraz umożliwiało ekspansję osadnictwa na obszary wcześniej marginalne pod względem rolniczym. W tym czasie w wielu regionach Europy odnotowano wzrost powierzchni gruntów ornych, intensyfikację upraw zbóż oraz rozwój struktur gospodarczych o większej skali produkcji rolnej (por. Mann i in. 2009; Forysiak i in. 2010; Forysiak 2012; Ljungqvist i in. 2012; Costello 2021; Tserendorj i in. 2021; Czerwiński i in. 2022).

Dna dolin rzecznych w średniowieczu stopniowo przestawały nadawać się do zagospodarowywania. Powodem tego był wzrost liczby wezbrań, które były skutkiem zmian

klimatu w XIII wieku (Przybylak i in. 2023). Równiny zalewowe stawały się nadmiernie uwilgotnione. Zaczęto zagospodarowywać wyższe partie dolin i wysoczyzn, co wymusiło zmiany w technice rolnej. Odpowiedzią na te zmiany było wprowadzenie pługu z żelaznym lemieszem i z odkładnicą (przełom XII i XIII w.). Dzięki niemu mogły być uprawiane ciężkie gleby gliniaste występujące na wysoczyznach (Bartkowski 1978; Chmielowska i Marosik 1989).

6. Wnioski

Gród w Rękoraju został zlokalizowany w obrębie doliny rzecznej na terasie rzecznej zbudowanej z piasków drobno- i średnioziarnistych. Pozwalało to na łatwe modelowanie powierzchni oraz na szybką infiltrację wody opadowej. Fortyfikacje znajdują się na stoku o nachyleniu około 2°–2,5°, wznoszącym się około 1,5 metra ponad ówczesnym dnem doliny. Takie położenie odpowiada typowym wzorcom osadniczym we wczesnym średniowieczu, gdzie lokowano osady na terasach rzecznych oraz cyplach/ostrogach wysoczyzn. Zapewniało to ochronę przed wodami wezbraniowymi, a także zapewniało korzystne warunki obronne.

Radialny układ dolin rzecznych oraz duża liczba dolin denudacyjnych pozwalała na łatwiejsze penetrowanie terenu i wysoczyzn. W bezpośrednim sąsiedztwie przebiegało koryto rzeczne, zapewniające dostęp do wody oraz stanowiło szlak komunikacyjny.

Lokalizacja grodu na stokach o niewielkim nachyleniu i ekspozycji południowo-wschodniej odpowiada preferencjom dawnych społeczności, które wybierały takie miejsca ze względu na korzystniejszy mikroklimat oraz lepsze nasłonecznienie. Warunki środowiskowe podczas Średniowiecznego Optimum Klimatycznego sprzyjały rozwojowi rolnictwa, a także osadnictwa. W tym okresie wydłużył się sezon wegetacyjny, co umożliwiało ekspansję osadnictwa na dotychczas marginalne tereny, a także na magazynowanie produktów rolnych.

Obszar wokół Rękoraju charakteryzuje się urozmaiconą przypowierzchniową budową geologiczną i rzeźbą terenu. Skutkowało to powstaniem różnego rodzaju gleb, a dalej do wykształcenia się bogatej szaty roślinnej. Różnorodne runo leśne było systematycznie wykorzystywane w ramach gospodarki zbierackiej. Równocześnie prowadzono intensywną eksploatację lasów łęgowych oraz dębowo-grabowych, przy czym wysoki udział grabu w strukturze tych drzewostanów mógł stanowić istotny czynnik lokalizacyjny sprzyjający osadnictwu. W pobliżu grodu występowały żyzne czarne ziemie oraz gleby hydro- i semihydrogeniczne, ułatwiające intensywną działalność rolniczą. Występowanie zróżnicowanych utworów litologicznych i form geomorfologicznych, w połączeniu z korzystnymi warunkami hydrograficznymi oraz klimatycznymi, determinowało zróżnicowanie pokrywy glebowej, a w konsekwencji także typów siedlisk warunkujących obecność i rozwój różnych gatunków roślin i zwierząt. Dzięki temu równocześnie mogło rozwijać się kilka kierunków eksploatacji środowiska.

Upadek grodu rękorajskiego wiązany jest m.in. z odchodzeniem od drewniano-ziemnych obwarowań na rzecz trwalszych fortyfikacji kamiennych czy ceglanych w trakcie rozbicia dzielnicowego przypadającego na wieki XII–XIV (Chmielowska 1969, 1975; Chmielowska i Marosik 1989). Jednocześnie kolejnym czynnikiem mogły być zmiany klimatyczne i hydrologiczne, takie jak spadek średnich temperatur oraz wzrost częstotliwości i intensywności wezbrań rzecznych. Nadmierne uwilgotnienie równin zalewowych znacząco ograniczało możliwości efektywnego gospodarowania na terenach, gdzie mogły być prowadzone uprawy ogrodowe.

Zmiany klimatyczne w kolejnych wiekach przyczyniły się do skrócenia sezonu wegetacyjnego oraz wzrostu ryzyka strat w plonach spowodowanych przez niekorzystne warunki pogodowe. W konsekwencji, systemy rolnicze musiały ulegać restrukturyzacji, co często wiązało się z koniecznością opuszczania nisko położonych, zalewanych przez wody rzeczne, terenów dolinnych i przenoszeniem upraw na wyżej położone obszary. Wymuszało to także rozwój nowych technik uprawy.

Podziękowania

Chciałbym podziękować Recenzentom oraz prof. dr hab. Piotrowi Kittlowi z Katedry Geologii i Geomorfologii Wydziału Nauk Geograficznych Uniwersytetu Łódzkiego za cenne uwagi i sugestie, które przyczyniły się do udoskonalenia treści artykułu.

7. Literatura

- Andrzejewski A., Sikora J. (red.). 2017. Grodziska wczesnośredniowieczne Polski Centralnej. Stowarzyszenie Naukowe Archeologów Polskich, Oddział w Łodzi, Instytut Archeologii Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Balwierz Z. 2010. Analiza pyłkowa osadów torfowiska Żabieniec, [w:] Twardy J., Żurek S., Forysiak J. (red.), Torfowisko Żabieniec. Warunki naturalne, rozwój i zapis zmian paleoekologicznych w jego osadach. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 179–188.
- Baranowski B. 1979. Ziemia piotrkowska do końca XVIII w., [w:] Baranowski B. (red.), Województwo piotrkowskie. Monografia regionalna. Zarys dziejów, obraz współczesny perspektywy rozwoju. Uniwersytet Łódzki, Łódź: 86–90.
- Bartkowski T. 1978. Środowisko przyrodnicze grodu wczesnośredniowiecznego w Łądzie nad Wartą Środkową, [w:] Błaszczuk W. (red.), Gród wczesnośredniowieczny w Łądzie nad środkową Wartą. Muzeum Archeologiczne w Poznaniu, Poznań: 13–31.
- Błaszczuk Z. 2000. Archeologiczne Zdjęcie Polski w województwie piotrkowskim. Katalog stanowisk. Piotrków Trybunalski: 1–459.
- Buko A. (red.). 2007. Stradów. Wczesnośredniowieczny zespół osadniczy. Tom I. Instytut Archeologii i Etnologii Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
- Chmielowska A. 1969. Badania na grodzisku wczesnośredniowiecznym w Rękoraju, pow. Piotrków Trybunalski. Sprawozdania Archeologiczne 21: 209–213.
- Chmielowska A. 1975. Osadnictwo w Polsce Środkowej w okresie od połowy X do połowy XIII w. Prace i Materiały Muzeum Archeologicznego i Etnograficznego w Łodzi, Seria Archeologiczna 22: 331–371.
- Chmielowska A., Marosik P. 1989. Wczesnośredniowieczne budownictwo obronne między Prosną i Pilicą. Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Szlakami Nauki 17, PWN Warszawa–Łódź: 1–161.
- Chudziak W., Weinkauff M. 2023. Wczesnośredniowieczne grodziska w Polsce. Powiat Inowrocławski, województwo kujawsko-pomorskie. Instytut Archeologii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, Toruń.
- Costello E. 2021. The Colonisation of Uplands in Medieval Britain and Ireland: Climate, Agriculture and Environmental Adaptation. *Medieval Archaeology* 65(1): 151–179.
- Cywa K. 2015. Technologiczne i środowiskowe aspekty surowca drzewnego w polskich grodach średniowiecznych, wstępne wyniki badań drewna użytkowego, [w:] Dzieduszyńska D., Roman M. (red.), Dynamika zmian roślinności Niżu Polskiego w dobie późnoglaciacyjnych zmian klimatu i narastania antropopresji w holocenie. VII Konferencja Paleobotaniki Czwartorzędu, Łódź, 10–12.06.2015: 14–15.
- Czerwiński S., Marcisz K., Wacnik A., Lamentowicz M. 2022. Synthesis of palaeoecological data from the Polish Lowlands suggests heterogeneous patterns of old-growth forest loss after the Migration Period. *Scientific Reports* 12: 8559. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12241-1>
- Dubaniewicz H. 1979. Klimat, [w:] Dalikowa A., Olaczek R. (red.), Województwo Piotrkowskie. Monografia regionalna. Zarys dziejów, obraz współczesny, perspektywy rozwoju. Uniwersytet Łódzki, Łódź: 28–34.
- Dylik J. 1971. Województwo ze stolicą bez antenatów. *Geografia historyczna województwa łódzkiego*. Łódzkie Towarzystwo Naukowe, Łódź 15: 1–187.
- Forysiak J. 2012. Zapis zmian środowiska przyrodniczego późnego wistulianu i holocenu w osadach torfowisk regionu łódzkiego. *Acta Geographica Lodziensia* 99: 1–164.
- Forysiak J., Borówka R.K., Kittel P., Kloss M., Lamentowicz M., Pawłowski D., Płóciennik M., Twardy J., Żurek S. 2010. Holoceniński rozwój torfowiska Żabieniec i jego znaczenie dla paleoekologii i paleogeografii, [w:] Borówka K., Pawłowski D. (red.), Torfowisko Żabieniec: warunki naturalne, rozwój i zapis zmian paleoekologicznych w jego osadach. Bogucki Wydawnictwo Naukowe: 203–214.
- Ginter A., Piech W. 2022. Analizy sedymentologiczne i geochemiczne nawarstwień Starego Rynku w Kutnie, [w:] Ginter A., Ginter J. (red.), Kutno. Powstanie i rozwój małego ośrodka miejskiego w ujęciu interdyscyplinarnym. Muzeum Regionalne w Kutnie, Instytut Archeologii Uniwersytetu Łódzkiego. Zakład Poligraficzny: 395–424.
- Ginter A., Piech W., Krąpiec M., Moska P., Sikorski J., Hryniewiecka A., Stachowicz-Rybka R., Cywa K., Piotrowska N., Mroczkowska A., Tołoczko W., Okupny D., Mazurkevich A., Kittel P. 2023. Intense and quick land relief transformation in the Little Ice Age: The age of accumulative fan deposits in Serteyka River Valley (Western East European Plain). *Quaternary International* 644–645: 160–177. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.02.015>
- Goździk J. 1982. Środowisko przyrodnicze osadnictwa średniowiecznego okolic Rozpry. *Prace i Materiały Muzeum Archeologicznego i Etnograficznego w Łodzi, Seria Archeologiczna* 29: 129–148.
- Jokić P. 2004. Zasoby wodne środkowej Polski na progu XXI wieku. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 1–114.
- Kalicki T. 2006. Zapis zmian klimatu oraz działalności człowieka i ich rola w holocenińskiej ewolucji dolin środkowoeuropejskich. *Prace Geograficzne* 204: 1–349.
- Kalicki T., Biesaga P. 2024. Ewolucja doliny Nidy w późnym glacie i holocenie. Ośrodek Badań Europy Środkowo-Wschodniej. Kielce–Białystok: 1–147.
- Kittel P. 2012. Wpływ georóżnorodności zlewni Neru (Polska środkowa) na lokalizację osadnictwa pradziejowego. *Landform Analysis* 19: 49–66.
- Kittel P. 2013. Geomorfologiczne uwarunkowania lokalizacji osadnictwa na przykładzie doliny Rawki w Rawie Mazowieckiej. *Acta Geographica Lodziensia* 101: 49–79.
- Kittel P., Jaskulski M., Nalej M. 2017. Uwarunkowania geologiczne i geomorfologiczne funkcjonowania średniowiecznych grodowych zespołów osadniczych w Polsce Środkowej, [w:] Andrzejewski A., Sikora J. (red.), Grodziska wczesnośredniowieczne Polski Centralnej. Archeologiczne badania nieinwazyjne z lat 2013–2016, Łódź: 17–44.
- Kittel P., Mazurkevich A., Dolbunova E., Kazakov E., Mroczkowska A., Pavlovskaja E., Piech W., Płóciennik M., Sikora J., Teltevskaia Y., Więckowska-Luth M. 2018a. The geological and geomorphological situation of the Neolithic pile-dwelling Serteta II site, Western Russia. *Acta Geographica Lodziensia* 107: 191–213.

- Kittel P., Sikora J., Antczak O., Brooks S.J., Elias S., Krąpiec M., Luoto T.P., Borówka R.K., Okupny D., Pawłowski D., Płóciennik M., Rzodkiewicz M., Stachowicz-Rybka R., Wacnik A. 2018b. The palaeoecological development of the Late Medieval moat – Multiproxy research at Rozprza, Central Poland. *Quaternary International* 482: 131–156. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.03.026>
- Kittel P., Sikora J., Wroniecki P. 2018c. A Late Medieval motte-and-bailey settlement in a lowland river valley landscape of Central Poland. *Geoarchaeology* 33(5): 558–578.
- Klatka T. 1979. Gleby, [w:] Baranowski B. (red.), *Województwo piotrkowskie. Monografia regionalna. Zarys dziejów, obraz współczesny perspektywy rozwoju*. Uniwersytet Łódzki, Łódź: 42–45.
- Kondracki J. 2002. *Geografia Regionalna Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 1–440.
- Korczyńska-Cappenberg M., Nowak M., Mueller-Bieniek A., Wilczyński J., Pospuła S., Wertz K., Kalicki T., Biesaga P., Szwarczewski P., Kapcia M., Cappenberg K., Wacnik A., Moskal-del Hoyo M. 2023. Middle Neolithic agricultural and land-use models in southern Poland: A case-study of the long-term settlement in Mozgawa. *The Holocene* 33(6): 619–635.
- Kurnatowski S. 1968. Osadnictwo i jego rola w kształtowaniu krajobrazu. *Folia Quaternaria* 29: 183–197.
- Kurnatowski S. 1971. Rozwój zaludnienia Wielkopolski zachodniej we wczesnym średniowieczu i jego aspekty gospodarcze. *Archeologia Polski* 16(1/2): 465–482.
- Kurowski J. 1979. Zbiorowiska roślinne, [w:] Baranowski B. (red.), *Województwo piotrkowskie. Monografia regionalna. Zarys dziejów, obraz współczesny perspektywy rozwoju*. Uniwersytet Łódzki, Łódź: 51–60.
- Lamb H.H. 1995. *Climate, History, and the Modern World* (2d ed.). Routledge, London.
- Laskowski S. 1993. Pokrywa glebowa, [w:] Pączka S. (red.), *Środowisko geograficzne Polski Środkowej*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 135–159.
- Litwoch R., Szmoniewski B.S. 2024. On the northern boundaries of the Vistulans, [w:] Parasciv-Talmatchi C. (red.), *Fortresses, towns and settlements. Everyday life on the edge of empires (7th–13th centuries)*. Pontica LVII Supplementum XI, Cluj-Napoca: 43–69.
- Ljungqvist F.C., Krusic P.J., Brattström G., Sundqvist H.S. 2012. Northern Hemisphere temperature patterns in the last 12 centuries. *Climate of the Past*, 8: 227–249. <https://doi.org/10.5194/cp-8-227-2012>
- Lorenc H. 2005. *Atlas klimatu Polski*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa: 1–114.
- Maksymiuk Z. 1979. Wody, [w:] Baranowski B. (red.), *Województwo piotrkowskie. Monografia regionalna. Zarys dziejów, obraz współczesny, perspektywy rozwoju*. Uniwersytet Łódzki, Łódź: 34–42.
- Mann M.E., Hang Z., Rutherford S., Bradley R.S., Hughes M.K., Shindell D., Ammann C., Faluvegi G., Ni F. 2009. Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science* 326: 1256–1260.
- Marcinkowski M., Szczepaniak M. 2019. Geoarchaeology of the Early Medieval stronghold surroundings in Grzybowo near Września, Greater Poland. *Quaestiones Geographicae* 38(3): 95–108.
- Marks L. 2016. Zmiany klimatu w holocenie. *Przegląd Geologiczny* 64(1): 59–65.
- Matuszkiewicz J.M. 2008. Potential natural vegetation of Poland (Potencjalna roślinność naturalna Polski). Mapa przeglądowa 1:300.000, Arkusz C3. IGIPZ PAN, Warszawa.
- Moberg A., Sonechkin D.M., Holmgren K., Datsenko N.M., Karlén W. 2005. Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data. *Nature* 433: 613–617.
- Moszczyńska J. 1986. Hydrologia dorzecza Wolbórki. *Acta Geographica Lodzensia* 46: 1–146.
- Papińska E. 2004. Środowisko geograficzne łodzi jako tło osadnictwa pradziejowego. *Acta Universitatis Lodzensis. Folia Geographica Physica* 6: 135–174.
- Petera-Zganiacz J., Forsyjak J. 2012. Historia rozwoju doliny Warty w basenie uniejowskim. *Biuletyn Uniejowski* 1: 23–41.
- Piech W. 2017. Waloryzacja środowiska przyrodniczego wczesnośredniowiecznego grodu w Rękoraju na Wysoczyźnie Piotrkowskiej, Polska Środkowa. *Acta Universitatis Lodzensis. Folia Geographica Physica* 16: 33–42.
- Piech W. 2019. Próba określenia stref użytkowania terenu we wczesnym średniowieczu w otoczeniu grodziska w Rękoraju, Polska Środkowa, [w:] Nyckowiak J., Pryliński W. (red.), *Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce. Nauki humanistyczne i społeczne, część II – Historia i społeczeństwo. Młodzi Naukowcy*, Poznań: 90–97.
- Piech W. 2021. Sedimentological features and depositional conditions of accumulative fans in the lower Seretka River Valley, Western Russia. *Acta Geographica Lodzensia* 111: 159–188.
- Piech W., Kittel P., Mazurkevich A., Pavlovskaja E., Kazakov E., Teltevs-kaya Y., Błaszczak K., Kotrys B. 2018. Cechy sedymentologiczne i warunki depozycji osadów stożka akumulacyjnego w dolinie rzeki Seretki (Zachodnia Rosja). *Acta Geographica Lodzensia* 107: 215–238.
- Piech W., Hryniewicka A., Stachowicz-Rybka R., Cywa K., Mroczkowska A., Słowiński M., Okupny D., Krąpiec M., Ginter A., Mazurkevich A., Kittel P. 2024. Natural and anthropogenic factors affecting intense slope processes in Eastern Europe during the Modern Period: Seretka river Valley, Russia. *The Holocene* 34(7). <https://doi.org/10.1177/09596836241236316>
- Podgórski Z., Szatten D., Brzezińska M., Maerker M. 2021. Spatial analysis of hillfort locations in the Chełmno Land (Poland) using digital terrain analysis and stochastic data exploration. *Journal of Archaeological Science: Reports* 39: 103170.
- Prygała J. 1971. Zastosowanie metod archeologicznych i przyrodniczych w studiach nad osadnictwem prahistorycznym na przykładzie badań na Mazowszu. *Folia Quaternaria* 39: 101–120.
- Przybylak R., Olinski P., Koprowski M., Szychowska-Krąpiec E., Krąpiec M., Pospieszynska A., Puchałka R. 2023. The climate in Poland (central Europe) in the first half of the last millennium, revisited. *Climate of the Past* 19: 2389–2408.
- Sikora J. 2009. *Ziemie Centralnej Polski we wczesnym średniowieczu. Studium Archeologiczno-Osadnicze*, Łódź.
- Sikora J., Kittel P., Wroniecki P. 2013–2015. Nieinwazyjne badania grodzisk wczesnośredniowiecznych Polski Centralnej i ich zaplecza osadniczego: Chełmo, Rękoraj, Rozprza, Stare Skoszewy, Szydłów. *Prace i Materiały Muzeum Archeologicznego i Etnograficznego w Łodzi, Seria Archeologiczna* 46: 265–267.
- Sikora J., Kittel P., Piech W., Wroniecki P. 2017. Rękoraj, [w:] Andrzejewski A., Sikora J. (red.), *Grodziska wczesnośredniowieczne Polski Centralnej. Archeologiczne badania nieinwazyjne z lat 2013–2016*, Łódź: 143–157.
- Szmoniewski B.S., Włodarczyk P. 2017. Badania wielkich grodów zachodniomałopolskich przeprowadzone przez małopolskich archeologów Instytutu Historii Kultury Materialnej PAN: próba podsumowania oraz obecne perspektywy. *Przegląd Archeologiczny* 65: 169–186.
- Szukała M. 1990. Rękoraj, ST, 17, gm. Moszczenica. Maszynopis w archiwum UOZ w Łodzi, Delegatura w Piotrkowie Trybunalskim.
- Tomaszewski E. 2007. Maksymalny czas trwania głębokich nizin letnich w środkowej Polsce i jego uwarunkowania. *Acta Universitatis Lodzensis. Folia Geographica Physica* 8: 89–98.
- Tserendorj G., Marinova E., Lechterbeck J., Behling H., Wick L., Fischer E., Sillmann M., Märkle T., Rösch M. 2021. Intensification of agriculture in southwestern Germany between the Bronze Age and Medieval period, based on archaeobotanical data from Baden-Württemberg. *Vegetation History and Archaeobotany* 30: 35–46.
- Turkowska K. 2006. *Geomorfologia regionu łódzkiego*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź: 1–238.
- Turkowska K., Wiczorkowska J. 1992. *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000*, Arkusz Tuszyn. Państwowy Instytut Geologiczny.
- Turkowska K., Wiczorkowska J. 1994. *Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski*, Arkusz Tuszyn (665). Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa: 1–36.
- Twardy J. 2008. Transformacja rzeźby centralnej części Polski Środkowej w warunkach antropopresji. *Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź*.

- Twardy J. 2013. Pradziejowa kolonizacja małych dolin rzecznych środkowej Polski i jej konsekwencje dla rozwoju rzeźby. *Landform Analysis* 24: 97–106.
- Twardy J., Forsyjak J., Rodak S., Możdziej S. 2018. Środowiskowe czynniki lokalizacji wybranych grodzisk w środkowej części Polski Zachodniej. *Acta Geographica Lodziensia* 107: 93–117.
- Wachecka-Kotkowska L. 2004. Zmiany środowiska doliny dolnej Łuciąży w holocenie. *Acta Universitatis Lodziensia. Folia Geographica Physica* 6: 47–68.
- Woś A. 1999. *Klimat Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa: 1–293.
- Zamelska-Monczak K., Piotrowski A., Sydor P., Żuk T., Rządziejewicz M., Noryśkiewicz A., Krzymińska J. 2021. Geoarchaeological studies on the Elary medieval Santok stronghold (North-Western Poland). *Geoarchaeology* 36(6): 978–1008.
- Zawadzka-Pawlewska U. 2017. Fazy osadnicze na obszarze zlewni Węgierki w czasach prehistorycznych i wczesnohistorycznych oraz ich zapis w środowisku stokowym i rzeczonym. Rozprawa doktorska, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski: 1–170.
- Ziomek J. 1982. Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, Arkusz Piotrków Trybunalski. Państwowy Instytut Geologiczny.
- <http://geoportal.lodzkie.pl/imap/> [20.05.2025].
- <http://www.moszczenica.pl/> [18.06.2025].
- <https://pl.climate-data.org/europa/polska/%C5%82odz-voivodeship/rekoraj-92608> [27.05.2025].

Spis treści

Contents

ARTYKUŁY ARTICLES

Karolina Serwach • Maciej Ziulkiewicz

Bottom sediments of a spring watercourse as a filter for microplastic – on the example of the Młynówka in Stary Imielnik (municipality of Stryków) – preliminary studies
/Osady denne cieków źródłowych jako filtr dla mikroplastiku – na przykładzie Młynówki w Starym Imielniku (gmina Stryków) – badania wstępne/..... 7

Dominik Witkowski

Zróżnicowanie petrograficzne piaskowców jurajskich z Jaziej Góry koło Opoczna, Polska Środkowa
/Petrographic differentiation of Jurassic sandstones from the Jazia Góra near Opoczno, Central Poland/..... 17

Małgorzata Górecka • Marcin Jaskulski

Analiza rzeźby terenu miejscowości zawierających w swojej nazwie podstawę słowotwórczą „gór” na terenie województwa łódzkiego z wykorzystaniem GIS
/Analysis of the terrain relief of localities containing the word-formation basis „gór” in their name within the Łódź Voivodeship using GIS/..... 25

Tomasz Kalicki • Cyryl Konstantinovski Puntos • Jani Konstantinovski Puntos

Analiza morfometryczna stożka napływowego Kouris (południowy Cypr) – studium porównawcze metody wizualnej i GIS
/Morphometric analysis of the Kouris alluvial fan (S Cyprus) – a comparative study of visual and GIS method/..... 37

Paweł Przepióra • Piotr Przepióra

Potencjał geoedukacyjny historycznych pól górniczych w świetle sieci dróg leśnych Nadleśnictwa Suchedniów (woj. świętokrzyskie)
/Geoeducational potential of historical mining fields in the light of the forest road network of the Suchedniów Forest District (Świętokrzyskie Voivodeship)/..... 45

Aleksandra Kołodziejczak • Marta Kowalczyk • Laura Ludwiczak • Arkadiusz Warczyński •

Jacek Forysiak

Charakterystyka morfologiczno-hydrologiczna Bzury w Lesie Łągiewnickim i ocena stanu jej naturalności
/Hydromorphological characteristics of the Bzura River in the Las Łągiewnicki and assessment of its naturalness/..... 59

Gabriel Patora • Zuzanna Hoffmann • Jacek Forysiak

Osady biogeniczne dna doliny Odry w rejonie miejscowości Gostchorze
/Biogenic deposits of the Odra River valley floor in Gostchorze/..... 69

Wiktor Piech

Środowiskowe uwarunkowania lokalizacji wczesnośredniowiecznego grodu w Rękoraju (Polska Środkowa)
/Environmental determinants of the location of the Early Medieval stronghold in Rękoraj (Central Poland)/..... 79

Artykuły/Articles

Karolina Serwach, Maciej Ziulkiewicz

Bottom sediments of a spring watercourse as a filter for microplastic – on the example of the Młynówka in Stary Imielnik (municipality of Stryków) – preliminary studies/
Osady denne cieków źródłiskowych jako filtr dla mikroplastiku – na przykładzie Młynówki w Starym Imielniku (gmina Stryków) – badania wstępne

Dominik Witkowski

Zróźnicowanie petrograficzne piaskowców jurajskich z Jaziej Góry koło Opoczna, Polska Środkowa/Petrographic differentiation of Jurassic sandstones from the Jazia Góra near Opoczno, Central Poland

Małgorzata Górecka, Marcin Jaskulski

Analiza rzeźby terenu miejscowości zawierających w swojej nazwie podstawę słotwórczą „gór” na terenie województwa łódzkiego z wykorzystaniem GIS/
Analysis of the terrain relief of localities containing the word-formation basis „gór” in their name within the Łódź Voivodeship using GIS

Tomasz Kalicki, Cyryl Konstantinowski Puntos, Jani Konstantinowski Puntos

Analiza morfometryczna stożka napływowego Kouris (południowy Cypr) – studium porównawcze metody wizualnej i GIS/Morphometric analysis of the Kouris alluvial fan (S Cyprus) – a comparative study of visual and GIS method

Paweł Przepióra, Piotr Przepióra

Potencjał geodukacyjny historycznych pól górniczych w świetle sieci dróg leśnych Nadleśnictwa Suchedniów (woj. świętokrzyskie)/Geoeducational potential of historical mining fields in the light of the forest road network of the Suchedniów Forest District (Świętokrzyskie Voivodeship)

Aleksandra Kołodziejczak, Marta Kowalczyk, Laura Ludwiczak, Arkadiusz Warczyński, Jacek Forysiak

Charakterystyka morfologiczno-hydrologiczna Bzury w Lesie Łagiewnickim i ocena stanu jej naturalności/Hydromorphological characteristics of the Bzura River in the Las Łagiewnicki and assessment of its naturalness

Gabriel Patora, Zuzanna Hoffmann, Jacek Forysiak

Osady biogeniczne dna doliny Odry w rejonie miejscowości Gostchorze/Biogenic deposits of the Odra River valley floor in Gostchorze

Wiktor Piech

Środowiskowe uwarunkowania lokalizacji wczesnośredniowiecznego grodu w Rękoraju (Polska Środkowa)/Environmental determinants of the location of the Early Medieval stronghold in Rękoraj (Central Poland)