

A c t a
Universitatis
Lodziensis

FOLIA GEOGRAPHICA PHYSICA

19
2020



WYDAWNICTWO
UNIWERSYTETU
ŁÓDZKIEGO

A c t a Universitatis Lodzianensis

FOLIA GEOGRAPHICA PHYSICA

19
2020

pod redakcją
Zbigniewa Rdzanego



 WYDAWNICTWO
UNIwersytetu
ŁÓDZKIEGO

ŁÓDŹ 2020

REDAKCJA

ACTA UNIVERSITATIS LODZIENSIS. FOLIA GEOGRAPHICA PHYSICA

Zbigniew Rdzany (redaktor naczelny), *Jan Degirmendźić* (redaktor statystyczny)

Jolanta Fiszbak (redaktor językowy), *Anna Majchrowska* (redaktor tematyczny – geografia fizyczna, geoekologia)

Aleksander Szmidt (redaktor tematyczny – GIS, kartografia cyfrowa), *Małgorzata Frydrych* (sekretarz redakcji)

RADA REDAKCYJNA

Paweł Jokieli (Uniwersytet Łódzki), *Polina Lemenkova* (Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moskwa), *Adam Łajczak* (Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie)

Ján Novotný (Słowacka Akademia Nauk, Bratysława), *Eva Paudišová* (Uniwersytet Komeńskiego w Bratysławie)

Mariusz Szubert (Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie)

RECENZENCI

Krzysztof Będkowski (Uniwersytet Łódzki), *Piotr Czubla* (Uniwersytet Łódzki), *Marcin Jaskulski* (Uniwersytet Łódzki)

Sylwia Kulczyk (Uniwersytet Warszawski), *Paweł Przepióra* (Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach)

Aleksander Szmidt (Uniwersytet Łódzki), *Wojciech Tołoczko* (Uniwersytet Łódzki)

Marcin Wójcik (Uniwersytet Łódzki)

REDAKTOR INICJUJĄCY

Katarzyna Smyczek

KOREKTA I SKŁAD KOMPUTEROWY

Aleksandra Retkiewicz

KOREKTA TECHNICZNA

Elżbieta Rzymkowska

PROJEKT OKŁADKI

Agencja Reklamowa efectoro.pl

Redakcja nie odpowiada za opinie i twierdzenia autorów publikowanych prac

Opublikowano gotowe materiały dostarczone do Wydawnictwa UŁ
przez Wydział Nauk Geograficznych

ISSN 1427-9711

e-ISSN 2353-6063

© Copyright by Authors, Łódź 2020

© Copyright for this edition by Uniwersytet Łódzki, Łódź 2020

Redakcja Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Physica

90-139 Łódź, ul. Narutowicza 88

tel. (+48 42) 665 59 35

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

e-mail: folia.geo.physica@uni.lodz.pl

Wydane przez Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

Wydanie I. W.10164.20.0.Z

Ark. druk. 7,0

Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

90-131 Łódź, ul. Lindleya 8

www.wydawnictwo.uni.lodz.pl

e-mail: ksiegarnia@uni.lodz.pl

tel. (42) 665 58 63, faks (42) 665 58 62

ARTYKUŁY

ARTICLES



Polina Lemenkova

Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Department of Natural Disasters, Anthropogenic Hazards and Seismicity of the Earth, Laboratory of Regional Geophysics and Natural Disasters
E-mail: pauline.lemenkova@gmail.com

GEBCO and ETOPO1 gridded datasets for GMT based cartographic Mapping of Hikurangi, Puysegur and Hjort Trenches, New Zealand

Rastrowe zestawy danych GEBCO i ETOPO1 dla kartowania opartego na GMT Kartowanie rowów Hikurangi, Puysegur i Hjort, Nowa Zelandia

Abstract

The study focused on the comparative analysis of the submarine geomorphology of three oceanic trenches: Hikurangi Trench (HkT), Puysegur Trench (PT) and Hjort Trench (HjT), New Zealand region, Pacific Ocean. HjT is characterized by an oblique subduction zone. Unique regional tectonic setting consist in two subduction zones: northern (Hikurangi margin) and southern (Puysegur margin), connected by oblique continental collision along the Alpine Fault, South Island. This cause variations in the geomorphic structure of the trenches. PT/HjT subduction is highly oblique (dextral) and directed southwards. Hikurangi subduction is directed northwestwards. South Island is caught in between by the “subduction scissor”. Methodology is based on GMT (The Generic Mapping Tools) for mapping, plotting and modelling. Mapping includes visualized geophysical, tectonic and geological settings of the trenches, based on sequential use of GMT modules. Data include GEBCO, ETOPO1, EGM96. Comparative histogram equalization of topographic grids (equalized, normalized, quadratic) was done by module ‘grdhisteq’, automated cross-sectioning – by ‘grdtrack’.

Results shown that HjT has a symmetric shape form with comparative gradients on both western and eastern slopes. HkT has a trough-like flat wide bottom, steeper gradient slope on the North Island flank. PT has an asymmetric V-form with steep gradient on the eastern slopes and gentler western slope corresponding to the relatively gentle slope of a subducting plate and steeper slope of an upper one. HkT has shallower depths < 2,500 m, PT is < -6,000 m. The deepest values > 6,000 m for HjT. The surrounding relief of the HjT presents the most uneven terrain with gentle slope oceanward, and a steep slope on the eastern flank for PT, surrounded by complex submarine relief along the Macquarie Arc. Data distribution for the HkT demonstrates almost equal pattern for the depths from -600 m to -2,600 m. PT has a bimodal data distribution with 2 peaks: 1) -4,250 to -4,500 m (18%); 2) -2,250 to -3,000 m, < 7,5%. The second peak corresponds to the Macquarie Arc. Data distribution for HjT is classic bell-shaped with a clear peak at -3,250 to -3,500 m. The asymmetry of the trenches resulted in geomorphic shape of HkT, PT and HjT affected by geologic processes.

Keywords

GMT, Hikurangi Trench, Puysegur Trench, Hjort Trench, geomorphic modelling, cartography, visualization, data analysis, bathymetry, Pacific Ocean.

Zarys treści

Studium poświęcone jest analizie porównawczej rzeźby dna trzech rowów oceanicznych: Hikurangi (HkT), Puysegur (PT) i Hjort (HjT), położonych w pobliżu Nowej Zelandii na południowym Pacyfiku. HjT charakteryzuje się skośną strefą subdukcji. Unikalna sytuacja geotektoniczna regionu polega na rozdzieleniu dwóch stref subdukcji: północnej (Hikurangi) i południowej (Puysegur), strefą kolizji kontynentalnej wzdłuż uskoku Alpine Fault na Wyspie Południowej. Subdukcja na południe od Wyspy Południowej zachodzi pod dużym kątem w kierunku południowo-wschodnim (PT i HjT), podczas gdy w strefie północnej (Hikurangi) odbywa się na północny zachód. W konsekwencji Wyspa Południowa jest ujęta w swego rodzaju „nożyce subdukcyjne”. Metodologia oparta na GMT (The Generic Mapping Tools) posłużyła do skartowania, wykreślenia i modelowania obszaru. Kartowanie obejmuje wizualizację danych geofizycznych oraz pozycji tektonicznej i geologicznej rowów, opartą na sekwencyjnym użyciu modułów GMT. Dane obejmują GEBCO, ETOPO1, EGM96. Porównawcza korekcja histogramu siatek topograficznych (wyrównana, znormalizowana, kwadratowa) została wykonana przez moduł „grdhisteq”, zaś automatyzowane przekroje – przez moduł „grdtrack”.

Analiza wykazała, że rów Hjort ma symetryczną formę z porównywalnymi nachyleniami zarówno na zachodnich, jak i wschodnich zboczach. Rów Hikurangi ma podobne do koryta płaskie szerokie dno, a stok od strony zachodniej (przylegający do Wyspy Północnej) jest nachylony pod większym kątem od stoku wschodniego. Rów Puysegur ma asymetryczną V-kształtną formę ze stromo nachylonym zboczem wschodnim i łagodniejszym zachodnim. Rów HkT jest relatywnie płytki < 2500 m, PT osiąga głębokość < -6000 m. Największą głębokość (> 6000 m) stwierdzono dla rowu Hjort. Rzeźba dna w otoczeniu HjT jest najbardziej zróżnicowana, a w przypadku położonego bardziej na północ PT zaznacza się wyraźna dysproporcja pomiędzy łagodnym oceanicznym zboczem na zachodzie i stromym zboczem grzbietu Puysegur (północny odcinek Łuku Macquarie) na wschodniej flance rowu. Rozkład danych batymetrycznych dla HkT jest stosunkowo zrównoważony dla głębokości od 600 m do 2600 m. PT ma bimodalny rozkład danych z 2 pikami: 1) 4250 do 4500 m (18%); 2) 2250 do 3000 m, < 7,5%. Druga koncentracja danych odpowiada łukowi Macquarie. Rozkład danych dla HjT ma klasyczny kształt dzwonu z wyraźnym ekstremum odpowiadającym głębokościom 3250 do 3500 m. Asymetria zaprezentowanych rowów oceanicznych jest uwarunkowana przez procesy geotektoniczne.

Słowa kluczowe

GMT, rów Hikurangi, rów Puysegur, rów Hjort, modelowanie geomorfologiczne, kartografia, wizualizacja, analiza danych, batymetria, Ocean Spokojny.

1. Introduction

Worldwide, deep-sea ocean trenches are mostly formed in the locations of the subduction zones of plate, along which lithospheric tectonic plates subduct one under another. Morphologically presented as long, narrow, steep-sided depressions in the ocean bottom, hadal trenches typically occur in the maximum oceanic depths, ca 7,300 up to >11,000 m (e.g. Mariana Trench). The geomorphic appearance of hadal trenches is their cross-sections is highly variable (V-shaped, U-shaped, elongated to upside-down-ridge-like, circular-like, arcuate, symmetric or irregular: left- or right-sided), which is often related to the prevailing tectonic plate movements, geologic regime and substrate, contributing to the geomorphic shape of the trenches.

The focus of this study is set on the comparative analysis of the three oceanic trenches: Hikurangi, Puysegur and Hjort, located near New Zealand, southwest Pacific Ocean (Fig. 1). Unique tectonic setting of the region consist in the connection of two subduction zones in the north (Hikurangi margin) and in the south (Puysegur margin), connected by an oblique continental collision along the Alpine Fault located in the South Island of New Zealand.

This cause variations in the submarine geomorphic structure of the trenches which is also referred as “subduction scissor” (Pysklywec *et al.* 2010).

The Puysegur/Hjort subduction is highly oblique (dextral) and directed southeastwards. The Hikurangi subduction is directed northwestwards. Hence, the South Island is caught in between by the “subduction scissor”. In the absence of available high-resolution information and detailed mapping on the seabed geomorphology of the Hikurangi, Puysegur and Hjort trenches, a GMT approach to map their seafloor on a local scale were undertaken. Since seafloor of the deep-sea trench represents an integrated response to a complex range of factors, such as oceanographic, geological and tectonic conditions which eventually define the present shape of the seabed landforms, an integrated approach was used to visualize, model and map three trenches on the New Zealand margin.

In this study, following key questions were addressed: the most repetitive depths of the seafloor of the trenches, and analysis of variations in the trench geomorphology. The cross-section modelling was performed via GMT modules ,psxy' and ,grdtrack'.

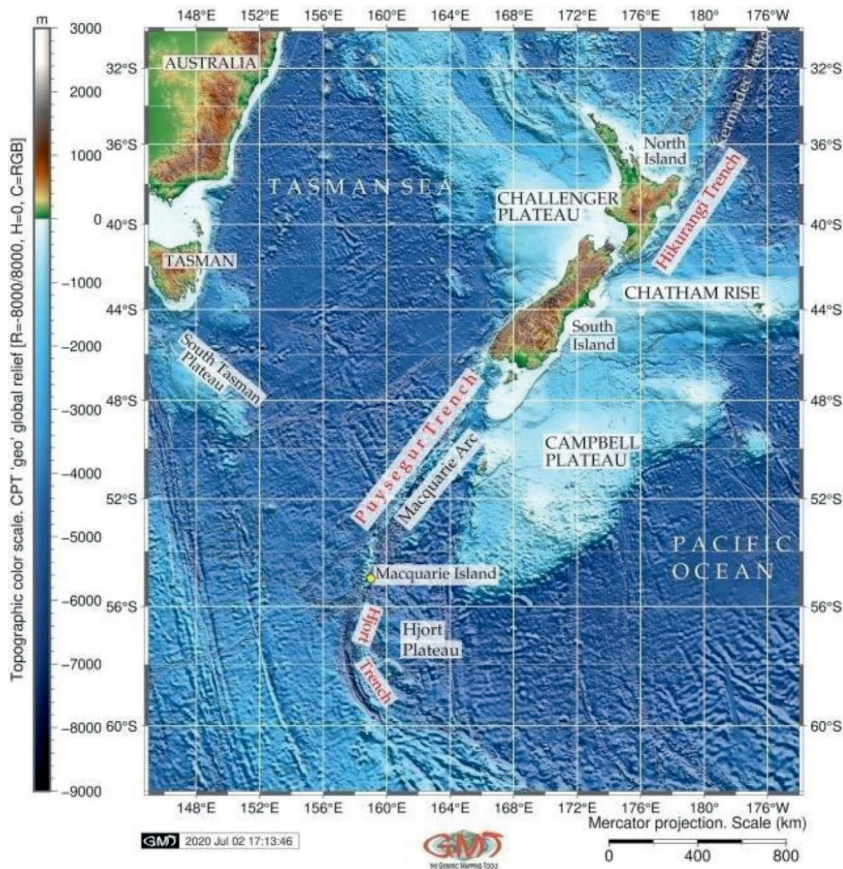


Fig. 1. GEBCO based topographic map of the New Zealand, Hikurangi, Puysegur and Hjort Trenches (ed. by author)

Ryc. 1. Mapa topograficzna Nowej Zelandii i rowów oceanicznych Hikurangi, Puysegur i Hjort w oparciu o GEBCO (oprac. autorki)

2. Study area

2.1. Hikurangi Trench

The Hikurangi Trench (sometimes also referred as trough) is located on the Hikurangi margin which is 500 km long by 480 km wide (Nicol, Wallace 2007), located northeast from the North Island. The toponymy of the Hikurangi Trench vary in the existing literature due to its specific geomorphology: in some works it is referred as ‘trench’ (e.g. Reyes *et al.* 2010; Reyners *et al.* 2011; Clark *et al.* 2019), in other works – as ‘trough’ (e.g. Barnes *et al.* 2010; Greinert *et al.* 2010; Jiao *et al.* 2015; Jiao *et al.* 2017).

The tectonic location of the Hikurangi is at the southern end of the 1000 km long Tonga-Kermadec-Hikurangi subduction systems, where Pacific Plate subducts obliquely northwestwards beneath the Indo-Australian Plate (Barnes, Mercier de Lepinay 1997) and Indo-Australian Plate has a strike-slip motion at 4 cm/yr. Comparing to the Kermadec trench reaching up to 9000 m, Hikurangi trench is shallow (ca. 3000 m). Pacific Plate dips at Hikurangi trench at a gentle angle of about 3° for at least 100 km beneath the trench and then further steepens beneath the North Island (Barker *et al.* 2009). The Alpine Fault stretches sub-parallel to the western edge of the Hikurangi Trench (Fig. 2). The speed of subduction on the Hikurangi Margin varies with a general trend of increase northwards: 34 mm/yr in the south (westward off Bounty Trough), 38 mm/yr in its central part (North Island) and 47 mm/yr in the North Island (Reyners 2013).

The Hikurangi north-west dipping subduction zone is old (started ca. 20 Ma). The subducted slab has a well defined Wadati-Benioff zone and steepens from shallow angles near the surface to near-vertical at depths > 100 km (Ballance 1976).

The geophysical, topographic and geological settings of the Hikurangi margin vary along the trench from south to north (Wallace *et al.* 2009), comparing Figure 2, 3, 4 and 5. Thus, interseismic coupling is strong and deep in the south, then gradually shallows northwards and becomes shallow and weak in the north. Southern region is characterized by accretionary wedge and tectonic contraction in the forearc. Northern region is characterized by frontal subduction erosion, numerous seamounts, and a slightly extensional upper plate. Kinematics of the Hikurangi Margin studied by GPS measurements of the horizontal velocity fields (Nicol, Wallace 2007) shown changes in faulting along the margin and clockwise tectonic block rotations caused by collision of the Hikurangi Plateau and Chatham Rise with Hikurangi Trench and subduction of oceanic crust northeast of the North Island.

Hikurangi Plateau initially formed a part and now separated from the largest oceanic plateau on Earth, the Ontong Java Plateau, located in the southwestern Pacific Ocean (Neal *et al.* 1997). Hikurangi Margin and continental shelf of the North Island of the New Zealand

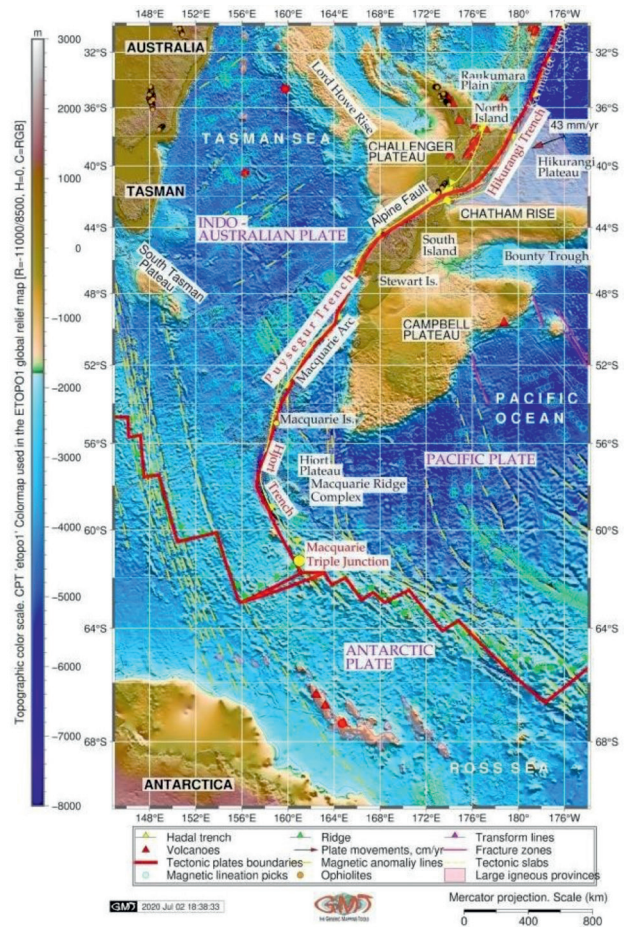


Fig. 2. Tectonic and geological settings of the study area, New Zealand region. The Pacific Plate subducts beneath the Indo-Australian Plate at the Hikurangi Trench; Indo-Australian Plate subducts beneath the Pacific Plate at the Puysegur and Hjort Trenches. Two subduction margins joined by dextral transform Alpine Fault, New Zealand (ed. by author)

Ryc. 2. Pozycja geotektoniczna badanego obszaru w regionie Nowej Zelandii. Płyta pacyficzna ulega subdukcji pod płytę indo-australijską wzdłuż rowu oceanicznego Hikurang; w rowach oceanicznych Puysegur i Hjort subdukcja zachodzi w przeciwnym kierunku. Obydwie strefy subdukcji rozdziela prawoprzesuwczy uskok transformacyjny Alpine Fault, Nowa Zelandia (oprac. autorki)

is well studied through various geologic investigations, more specifically: bathymetric, hydro-acoustic investigations (Barnes *et al.* 2010), active tectonics. Palaeogeographic reconstruction of the evolution of topography/bathymetry in the region of Hikurangi (Jiao *et al.* 2015) uses advanced methods of the thermochronology. Further findings in exploration geology in the Hikurangi Trench with a special focus on methane seepage and gas hydrates in the underlying sediments are relatively well studied (e.g. Klauke *et al.* 2010; Krabbenhoef *et al.* 2010, 2013; Martin *et al.* 2010; Pecher *et al.* 2010; Wang *et al.* 2017) studies on subduction earthquakes in Holocene, coseismic coastal deformation and tsunamis (Berryman *et al.* 2011; Clark *et al.* 2019) which later on largely affected submarine geomorphology of the Hikurangi margin forming submerged terraces (Berryman 1993).

2.2. Puysegur Trench

Puysegur Trench has ca. 800 km in length, stretching from the most southern tip of the South Zone is associated with the Alpine Fault, which is the right-lateral transform fault boundary separating the Puysegur Trench and the northern Kermadec Trench (Beavan, Haines 2001). Macquarie Ridge Complex (MRC) is a dominantly translational structure accommodating right-lateral motion between the Australian and Pacific Plates and the Puysegur Trench, where Australian lithosphere subducts beneath the southwest corner of New Zealand on the Pacific Plate. The plate boundary south of New Zealand is located along the MRC which is crucial for understanding the tectonic structure of the region. Comparing to the Hikurangi, Puysegur/Hjort is younger (started at 16–8 Ma) and less developed (Sutherland *et al.* 2006). The Indo-Australian Plate subducts beneath the Puysegur Bank and the Fiordland Massif forming Puysegur Trench.

2.3. Hjort Trench

Hjort Trench continues Puysegur Trench southwards from the Macquarie Island and extends until the Macquarie Triple Junction. It presents a linear topographic depression south of Macquarie Island in the southwest Pacific Ocean (Fig. 2). Hjort Trench lies in an area of transpression where plate boundary transitions from a transform boundary to a convergent one. Hence, this region shows how a transform boundary with a vertical (near-vertical) transform fault becomes an area of under-thrusting (Meckel *et al.* 2003). The deepest point of Hjort Trench is ca. 6.3 km b.s.l. Eastwards, the Hjort ridge follows the general curve of the Hjort Trench, separating it from the Hjort Plateau.

Hjort Trench is characterized by an oblique subduction zone geoid anomaly. Large 1924 earthquake occurred in the northern Hjort Trench which suggest a thrust focal mechanism and active subduction of young oceanic lithosphere beneath older oceanic lithosphere (Cazenave, Ruff 1985). Frequent seismic events, most less than 20 km deep, characterize the transpression along this plate boundary (Lodolo, Coren 1994). The southern segment of the Alpine Fault on the South Island continues into the Tasman Sea Basin and finishes at the Puysegur Trench (Fig. 2). The oceanic Indo-Australian plate subducts eastwards through the Puysegur Trench under the Pacific Plate.

Geologic events during the tectonic historical records of this region, such as Eocene-Oligocene rifting as well as Miocene-Quaternary strike-slip, crustal thinning in the Solander Basin, development of the oblique subduction zone in the Puysegur Trench, are studied by processing seafloor relief data and interpretation of the seismic and bathymetric cross-section profiles acquired over the Puysegur Trench area (Lamarche *et al.* 1997; Melhuish *et al.* 1999; Lamarche, Lebrun 2000).

3. Methods

3.1. Topographic mapping

The area selected for the data set lies in the southern Pacific Ocean and includes three trenches: Puysegur, Hjort and Hikurangi off New Zealand coast. The region is characterized by a geologically complex history and current situation with oblique subduction zone and subduction scissors. Such complex bathymetry exhibits considerable geomorphological variability among three trenches: there are differences caused by seamounts and seafloor obstructing natural curvatures of the trenches.

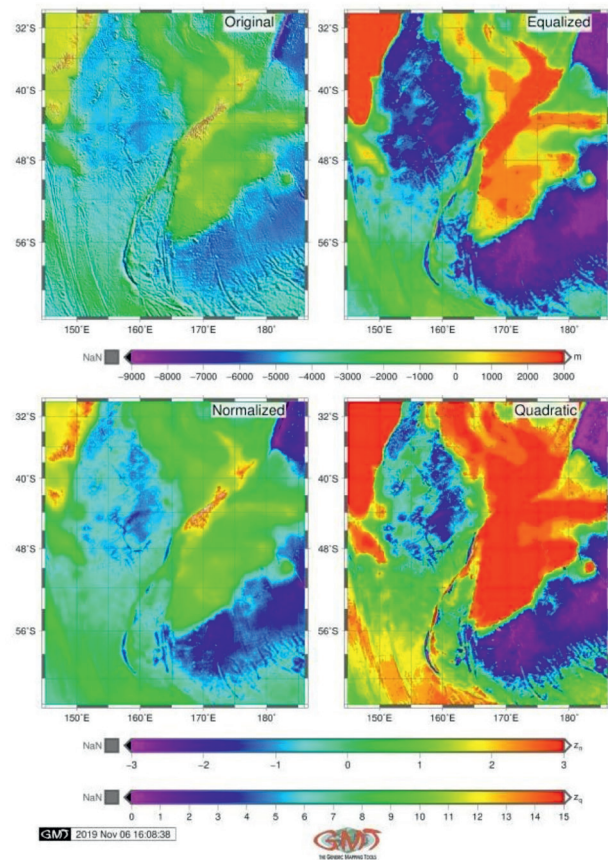


Fig. 3. Histogram equalization on the topography grids, ETOPO1 (ed. by author)

Ryc. 3. Wyrównanie histogramu na siatkach topograficznych, ETOPO1 (oprac. autorki)

High-resolution bathymetric data is important for mapping trench shape in a cross-section and to identify clearly its geomorphology. For these reasons, GEBCO bathymetric grid (GEBCO Compilation Group 2020) was selected for topographic mapping (Fig. 1). Pixel size at a coarse resolution bathymetric maps (ETOPO5) may reduce accuracy. Hence, ETOPO1 and GEBCO datasets were chosen. Among the two, the GEBCO grid was used as the base geodata source due to its high resolution: 15- arc second. The GEBCO (<https://www.gebco.net/>) grid uses as a base Version 1 of the SRTM15+ data set (Olson *et al.* 2014) which in turn is based on version 11 of SRTM30+ (Becker *et al.* 2009; Sandwell *et al.* 2014), updated by

gridded bathymetric data sets. The geoid and gravity (Fig. 4 and 5) are modeled based on the Earth Gravitational Model EGM96 dataset (Lemoine *et al.* 1998).

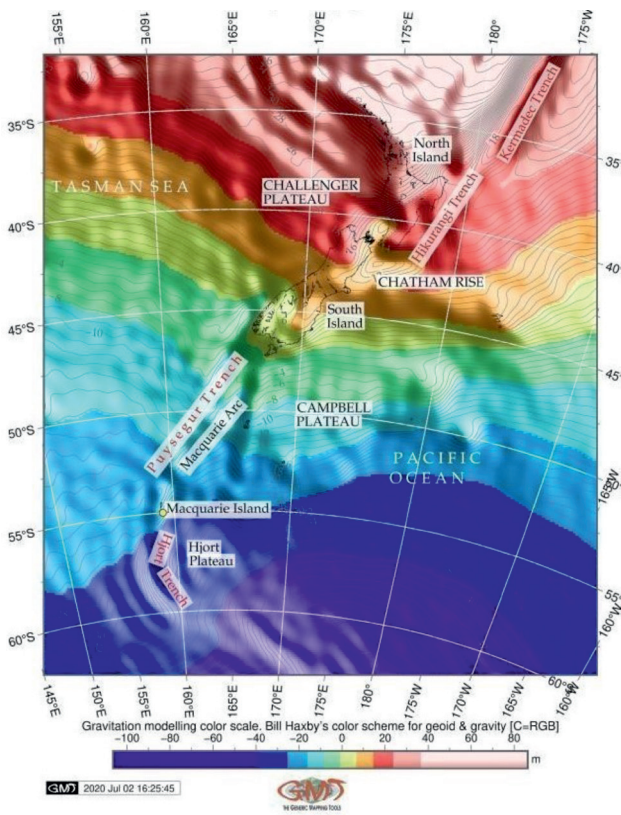


Fig. 4. Geoid model visualization based on the EGM96: New Zealand region, Hikurangi, Puysegur and Hjort Trenches (ed. by author)

Ryc. 4. Wizualizacja modelu geoidy na podstawie EGM96: region Nowej Zelandii, rowy oceaniczne Hikurangi, Puysegur i Hjort (oprac. autorki)

The quality of the two grids (GEBCO and ETOPO1) was compared and the data outputs assessed. Because the GEBCO grid has higher resolution than ETOPO1 (15 arc-second against 1 arc-minute, respectively), ultimately the GEBCO was selected as the base map for modelling and visualization

The assessment of the ETOPO1 grid was included visualization of the four subplots of histogram equalization (Fig. 3). The smoothness of the grids intensities for ETOPO1 was improved by passing the output of `,grdgradient'` to `,grdhisteq'`. Comparative histogram equalization was performed by key GMT module `,grdhisteq'` to enhance visualization of the various ranges of the ETOPO1 grid (Fig. 3). Four subplots were generated to find values dividing grid files into equal area patches. The `,grdhisteq'` module performs a histogram equalization of raster images. Using `,grdhisteq'`, the ASCII data values dividing the range of the initial raster data into cells segments was written to an output file. The `'-C16'` argument defines 16 cells. The resulting raster grid has an equal area in the images. Using `'makecpt'` GMT module this output was then coloured according to the actual bathymetric values by following code: `gmt makecpt -Crainbow -T-9000/3000 > t.cpt`. The explanations for the subplot with four maps (Fig. 3) is as follows:

Top left: The original map (top left) visualizes initial raster (artificial `cpt 'rainbow'`) to highlight changes in elevation; Top right: equalized raster grid; Low left: normalized raster grid derived using `-N` argument that stands for Gaussian output, used to to receive data with smooth Gaussian distribution. The default standard normal scores were used for grid normalization. Low right: quadratic equalization plotted using following snippet: `gmt grdhisteq hpt_relief.nc -Gout.nc -Q`. Here, the `'-Q'` argument is output selecting quadratic histogram equalization, unlike the default linear one. The `'-T-9000/3000'` argument means range of the topographic elevations. The image was then visualized using `,grdimage'` module by code snippet: `$gmt grdimage hpt_relief.nc -I+a45+nt1 -Ct.cpt -JM3i -Y6i -K -P -Bpxg5f5a10 -Bpyg4f2a8 -Bsxg5 -Bsyg4 -BWSne > ps`.

In this code, the `'-Ct.cpt'` argument passes `cpt` created in the previous step for visualization; the `,-JM3i'` arguments explains the Mercator projection with 3 inches width; `,-Y6i'` argument plots the map with 6 inches distance from the previous one by Y axis; `,-K'` argument refers to the continuation of the code. The annotation was added using Unix `'echo'` prog: `echo $172 -33 Original' | gmt pstext -Rhpt_relief.nc -J -F +jBL +f12p -T -Gwhite @10 -Dj0.1i -O -K >> ps`.

The `,grdhisteq'` GMT module enables to write a raster grid with statistics based on cumulative distribution function. That means, after applying the `,grdhisteq'` module, the output raster file has relative elevations in the same locations as the input file (that is, x, y). However, the values are modified to reflect their place in cumulative distribution with reference to the initial input file. This illustrates the principle of the equalization of the topographic grids by GMT module `,grdhisteq'`, as visualized on Fig. 3.

3.2. Digitizing cross-section profiles

Modelling and digitizing a series of the cross-section profiles along the trenches: Hikurangi, Puysegur and Hjort (Fig. 6 and 7) and plotting three graphs based on the retrieved tables (Fig. 8) was performed in GMT. Cross-section profiling is a technique used in geosciences to receive a sample of the selected segment in the study area and analyze variability of the studied elements along the track.

Automated methods have been explored in cartography, driven largely by the advantages of using machine-learning algorithms in cartographic routine, thus minimizing handmade routine, subjectivity in processes of the digitizing and vectorizing of the bathymetric data. Examples of such works is presented by Schenke, Lemenkova (2008); Lemenkova (2019e, 2019g, 2019h). GMT proposes more advanced solution in the automatization of the cross-sections through ML based digitizing that results in a series of the profile transects across the trench (Wessel, Smith 2018).

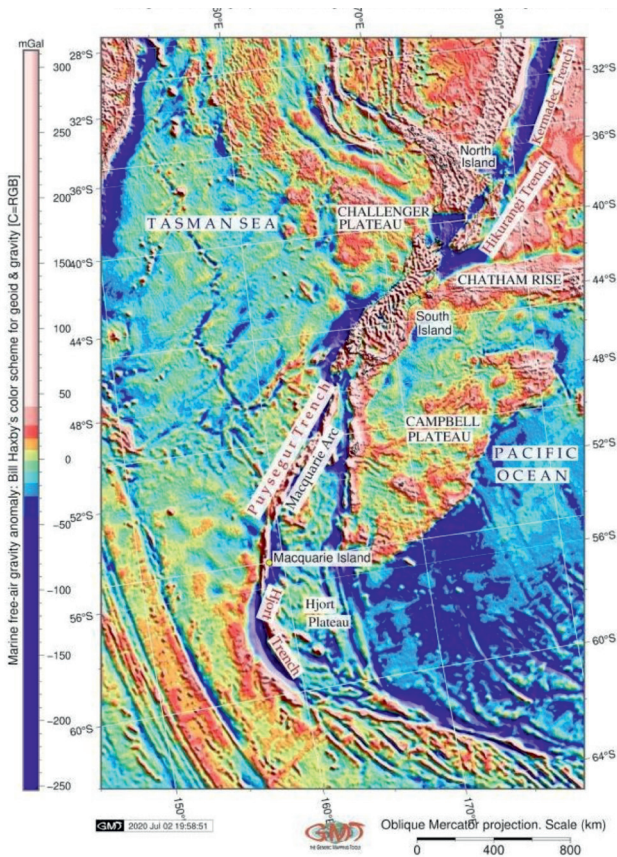


Fig. 5. Marine free-air gravity anomaly: Hikurangi, Puysegur and Hjort Trenches (ed. by author)

Ryc. 5. Morska anomalia grawitacyjna (redukcja wolnopolowietrzna – Faye’a): rowy Hikurangi, Puysegur i Hjort (oprac. autorki)

Two methods were tested in visualizing the profile: median and the mean (by GMT arguments ‘-Sm’ for median and ‘-Sa’ for mean). Of these two, median was selected as the best representing the empirical nature of the trench’s shape. Although the ‘mean’ method shows fine interpolation, the ‘median’ approach shows the performance and visual representation of the trench within reasonable reflection of its geomorphology. On the contrary, mean values are notable for smoothing the splines rather as a mathematical functions which lesser reflects the geographic phenomena of the objects. The uncertainties of the actual geomorphology are expected to exceed the theoretical interpolation of the actual geomorphology represented on the graphs. The shape of the trenches is highlighted as median using ‘-Sm’ argument, Fig. 6 and Fig. 8.

4. Results

Whilst it serves as a terrain variable in this study to examine the geomorphic landform, the variation of the geomorphic slopes were compared for the three trenches and following findings noted: Hikurangi Trench has a trough-like flat wide bottom, steeper gradient slope on the North Island flank (Fig. 6 and 8A).

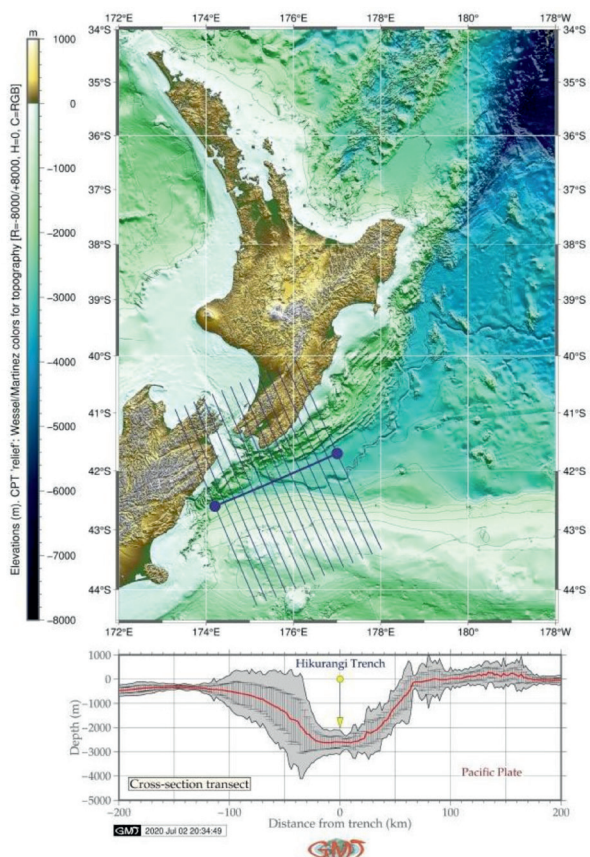


Fig. 6. Digitizing cross-section profiles in Hikurangi Trench, North Island (ed. by author)

Ryc. 6. Digitalizacja linii przekrojów w rowie Hikurangi, Wyspa Północna (oprac. autorki)

Puysegur Trench (Fig. 8B: middle plot) has an asymmetric V-form with steep gradient on the eastern slopes and more gentle slope on the west. Hjort Trench has a symmetric shape form with comparative gradients on both western and eastern slopes (Fig. 8C, lower plot). The results of the comparison of the median values (red line on Figure 8 for three sub-plots) of three trenches show that selected segment of the Hikurangi Trench has shallower depths with maximal values approximately -2,600 m (Fig. 8A), while Puysegur Trench is reaching up to -6,000 m (Fig. 8B). The deepest values >6,000 m for Hjort Trench (Fig. 8C). The surrounding relief of the Hjort Trench presents the most uneven terrain comparing to the other trenches. The neighboring terrain has a gentle slope on the oceanward side for Hikurangi Trench, and a steep slope on the eastern flank for Puysegur Trench, which is surrounded by more complex submarine relief along the Macquarie Arc (Fig. 2).

The statistical histograms for the transecting profiles of the Hikurangi, Puysegur and Hjort trenches are visualized on Figure 9. The evaluation of the descriptive statistics on bathymetry in three trenches and interpolation approaches shows following results. The shape of the histogram varies by the three trenches reflecting their geomorphology. Data distribution for the Hikurangi Trench

(Fig. 9B) demonstrates almost equal pattern for the depths from -600 m to -2,600 m with the samples observations not exceeding 60 for each sample bin (most data are detected at around 30 to 40 samples for a bin <4%). Notable peak have data located on the shallow areas (shallower than -500 m) where maximal values are detected for the range -400 to -300 m (258 samples). We can clearly see a rising increase of data with depths below 500, that is a slope of the North Island (frequency 5% to 12%).

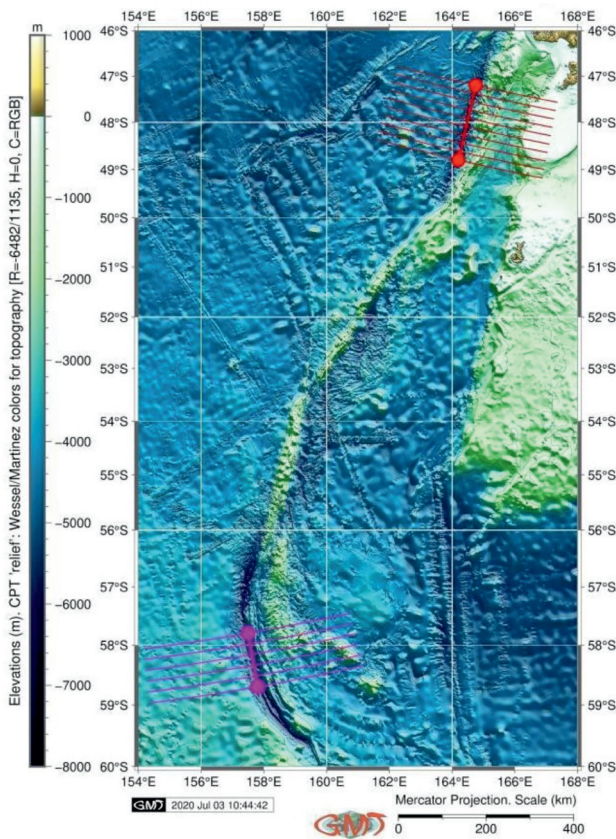


Fig. 7. Digitizing cross-section profiles in Puysegur and Hjort trenches, Macquarie Island Arc (ed. by author)

Ryc. 7. Digitalizacja linii przekrojów w rowach oceanicznych Puysegur i Hjort, łuk wyspowy Macquarie (oprac. autorki)

Puysegur Trench (Fig. 9A) has a bimodal type of data distribution with two peaks. The first peak has three notable bins range -4,250 to -4,500 m (373 samples detected, data frequency 18%), range -4,000 to 4,2 (182 samples, data frequency 9,6%) and -4,500 to -4,750 m (216 samples, data frequency 11,5%). The second peak covers depths from -2,750 to -3,000 m with the data frequency <7,5%. The peak corresponds to the Macquarie Arc bordering the trench slope. Data distribution for the Hjort Trench (Fig. 9C) has a bell-shape form with a clear peak of data at depths -3,250 to -3,500 m (364 samples, 30% of data frequency). The abrupt decrease in the sample values off both flanks of the trench corresponds to the steep slope of the trench west off Hjort Plateau.

Spreading fabrics can be seen (Fig. 7) eastwards off the Puysegur Trench, together with minor ridges. This

geomorphology is particularly well expressed along Macquarie Arc, between 51,5° and 54° where ridges might form due to the sedimentation processes. The ridges resembling elongated seamounts can be seen on the north-west side off the Puysegur Trench (Fig. 7) interspersed with minor troughs.

Geomorphic curvature and distribution of the seamounts near the Puysegur, Hjort and Hikurangi Trenches reflect the interplay between the complex tectonic processes occurring at a subducting tectonic plates and variations in the tension between the spreading ridges and the transform faults. In the northwest region off Puysegur Trench, GEBCO bathymetric data (Fig. 6 and 7) enable to see complex submarine relief: linearly expressed ridge geomorphology, a series of small elongated seamounts, minor troughs and flat seabed areas. The average depth of the seafloor deepens abruptly (Fig. 9A) from -4,750 (216 samples) to the -6,250 m (9 samples). The data distribution has a clear bimodal way for the Puysegur Trench with clear peaks at ranges -4,250 to -4,500 (373 samples) and at -2,750 to -3,000 m (140 samples). The histogram for the Hjort Trench (Fig. 9C) has a classic 'bell-shape' form with one peak in data distribution at range -3,250 to -3,500 m (364 samples).

The effect of using different histogram equalization algorithms was examined using subplots for data on ETOPO1 covering area for three trenches (Fig. 3). Equalization compression for bathymetry grids were tested as comparison for four grids: original, equalized, normalized, quadratic algorithms. The results for this step are demonstrated in Figure 3 showing a visual summary of a grid equalization by different GMT algorithms. Consistent cpt across all raster dataset grids where applied for better comparison.

From the analysis of histogram equalization algorithms it is notable that there are variations in the grids values obtained depending on the method: equalized, normalized, quadratic algorithms. This in itself means that the topic is worthy of further elaboration. Through the demonstrated example (Fig. 3) the effects of using different algorithms varying with raster dataset grids equalization can be notable. Cartographic functionality of the GMT is assessed by technical visualization of the produced maps, models and graphs as well as tested variety of map projections. In this study, following various cartographic projections were used for plotting maps: Mercator, Mollweide pseudo-cylindrical homolographic equal-area, Eckert IV equal-area pseudo-cylindrical, Lambert Azimuthal Equal-Area, Oblique Mercator.

5. Discussion

This study aimed to produce a set of the cross-section profiles for three deep-sea trenches varying in geomorphology which could be utilized at similar works for spatial marine data analysis and detailed seafloor mapping. The comparison of the geomorphology and

highlighted differences are presented for three trenches. In that sense the study objectives were achieved. GMT is aiming to enable cartographic visualization and modelling of a high standards, high-quality maps based on the raster/vector datasets which can be effectively used for mapping the shape of the seabed and submarine landforms, thereby providing the knowledge base to detail the topography of the World Ocean.

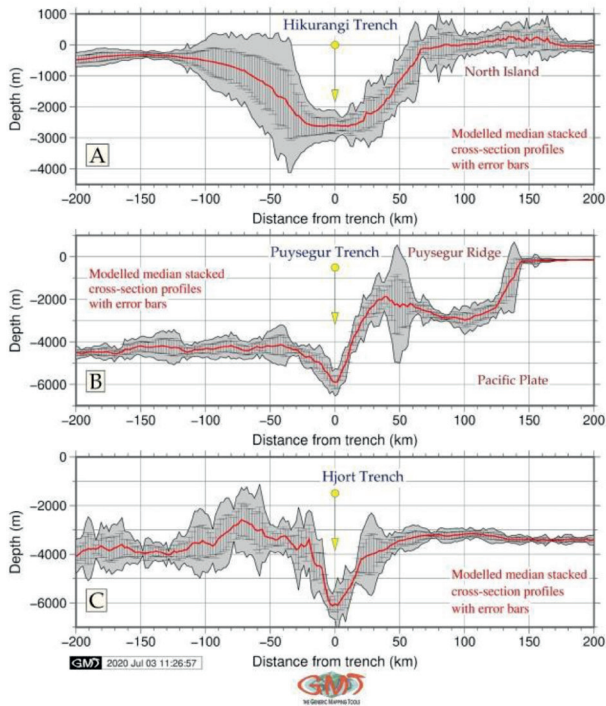


Fig. 8. Comparative analysis on geomorphic cross-sections by three trenches: Hikurangi, Puysegur and Hjort (ed. by author)

Ryc. 8. Analiza porównawcza profili batymetrycznych trzech rowów oceanicznych: Hikurangi, Puysegur i Hjort (oprac. autorki)

Approaches to the geological data analysis are diverse: ternary diagrams plotting (Reyes *et al.* 2010; Lemenkova 2019d), geophysical methods (Dahlin *et al.* 1999), swath-bathymetric mapping (Wells & Monahan 2002; Gauger *et al.* 2007; Nitsche *et al.* 2007), compression strength (Lindh 2004), various approaches to the data analysis, e.g. factor analysis, correlograms, cross-section plotting and visualization (Lemenkova 2018a, 2018b), geophysical and geomorphological modelling based on tectonic analysis and mapping (Serra *et al.* 2020; Gales *et al.* 2013; Lemenkova 2019c, 2019e). Apart from the statistical tools, a GIS data analysis is largely used in geological sciences. Comparing to the existing approaches based on various existing GIS software, e.g. ESRI ArcGIS (Suetova *et al.* 2005; Kuhn *et al.* 2006; Lemenkova 2011; Lemenkova *et al.* 2012; Klaučo *et al.* 2013a, 2013b, 2017), GMT is notable for its scripting based methodology. Plotting map in GMT evolves scripting and running a code from the console, unlike a GUI based GIS.

Modelling slope of the deep-sea trenches is important in relation to several reasons:

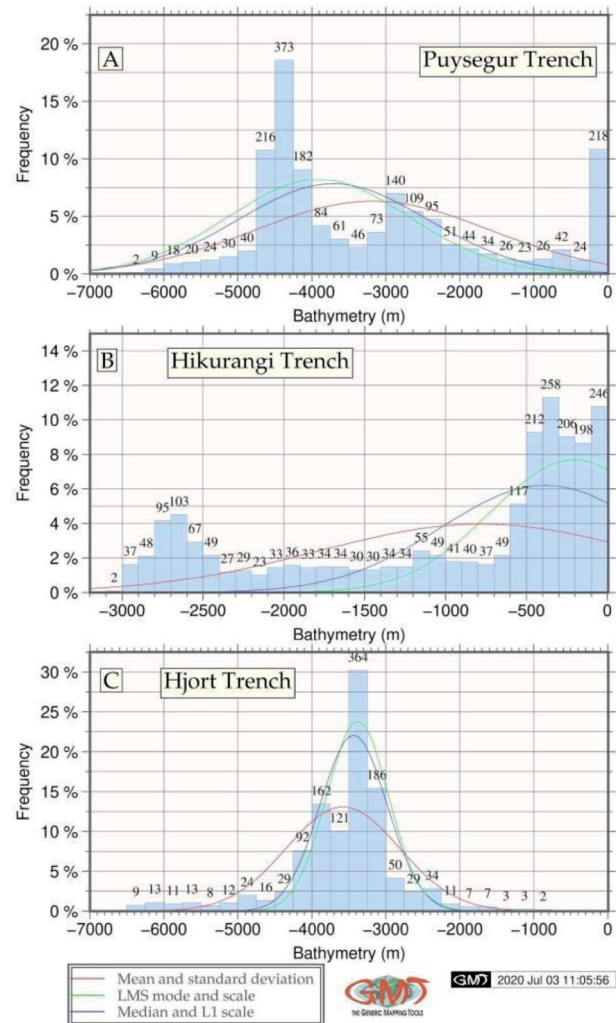


Fig. 9. Comparative analysis on data distribution by three trenches: Hikurangi, Puysegur and Hjort (ed. by author)

Ryc. 9. Analiza porównawcza rozkładu danych według trzech rowów: Hikurangi, Puysegur i Hjort (oprac. autorki)

1. Geomorphology of the trench presents a crucial characteristics for benthic habitat and hence serves as an environmental variable: more specifically, the stability of sediments which directly depend on the geomorphic slope characteristics, affects the ability of deep-sea fauna species to dwell on sediments.
2. Slope gradient is relevant as a geomorphological concept, since it impacts the stability of the geologic sediments and grain size.
3. Geomorphic slopes are factors inducing acceleration of ocean deep currents which is related to the environmental characteristics, such as ecological chain: food supply and exposure for the deep-sea fauna species.
4. Slope landforms and specific forms of the trench geomorphology induces erosion, movement, fall and replacements of sediments depending on their size.
5. Geomorphic characteristics of slopes eventually influence submarine landforms of the deep-sea trenches.

A phenomenon of the tectonic plates subduction explains the asymmetry of the deep-sea trenches. Subduction of one lithospheric plate to the Earth's mantle while another plate is being deformed induces a formation of the oceanic trench which eventually forms through filling the space between the plates. Necessarily, in case of the triple junction, the complexity of the bathymetric shape arises.

The depths of the Hikurangi, Puysegur and Hjort trenches are influenced by a variety of geologic processes and factors affecting their geomorphic shape and structure. Of these, the tectonic plates movements and slab geometry are the crucial factors controlling their form, gradient steepness and depths. This can be seen by the comparison of the visualized geophysical setting (Fig. 4 and 5) and geomorphology of the trench's seafloor (Fig. 6 and 7). Other factors include age and convergence rate of the plates, intermediate slab dip, width of sinking plate.

Generally, a strong correlation of the trench's axes with borders of the three lithospheric tectonic plates (Antarctic Plate, Pacific Plate and Indo-Australian Plate) can be noted, which underpins strong correlation of the trench geomorphology with direction of the tectonic slab lineaments, as plate movements, geologic lineaments and extend of the fracture zones in the final end lead to the formation of the trench axis through the plates motions.

Local geologic settings, linear extension of the tectonic slabs, complex tectonic processes and sedimentation of the Hikurangi, Puysegur and Hjort trenches might explain variations in their geomorphic structure and shape of the submarine landforms, in particular, a zone of Macquarie Triple Junction in Southwest Pacific Ocean, Antarctic.

6. Conclusion

As the utility of the seafloor-mapping technology, a GMT scripting was demonstrated as a case study for comparative analysis of the three trenches, methods of visualization through GMT modules for thematic mapping of the topographic and geologic settings (Fig. 1 and 2), topographic statistical smoothing (Fig. 3) geoid and gravity fields (Fig. 4 and 5), cross-section profile digitizing (Fig. 6 and 7), geomorphic plotting (Fig. 8) and statistical visualization (Fig. 9).

Applying GMT techniques to seafloor mapping on Hikurangi, Puysegur and Hjort Trenches off New Zealand enabled to model geomorphology of the three trenches by tested methods (Lemenkova 2019f, 2020) and visualize corresponding geologic conditions; each trench was distinguished by specific geomorphic shape of the submarine landform, geologic substrate, complexity of the tectonic settings and historical development of the lithospheric plates movements in this area.

The data on bathymetry has been modeled through GMT based cross-section profiling for the three trenches, respectively, and compared. The maximal depths in the

segments of the three trenches derived from digitized GEBCO grid were used for comparative analysis and visualized at histograms. Hikurangi Trench, which is also often referred as trough proved to have more trough-like shape form in its cross-section, while Puysegur and Hjort trenches have classic 'V'-form. Of all three trenches, Hjort Trench has the steepest slope gradient. The GMT demonstrated to be is a powerful cartographic toolset to visualize geological, geophysical and topographic maps, model geomorphic cross-sections and perform descriptive statistical analysis on the data retrieved from the automatic digitizing.

Cross-section modelling approach is based on the newly developed methods of the computed based data analysis and visualization of the transect xyz grids in topographical research (Harris *et al.* 2014; Hodgson *et al.* 2014; Bursztyn *et al.* 2015; Niyazi *et al.* 2018; Wessel, Smith 2018; Lemenkova 2019a, 2019b; Akan *et al.* 2020; Brothers *et al.* 2020; McCaLpin *et al.* 2020; O'Brien *et al.* 2020; Trevisan *et al.* 2020), adapted to the geomorphic mapping as a basis for mapping submarine geomorphology. Automated cross-sectioning model is based on primarily the 'grdtrack' module and considers three principal variables: length of the transect segment, distance between the samples, density of sampling, which in this study were accepted as: track 400 km long, spaces 20 km along the selected segment of the trench, and density 2 km. These variables were selected for script and then have shaped the current cross-section shapes of the landforms and defined curvatures of the modeled transects as median with errors visualized in three trenches (Fig. 8). The X axis of the profiles (Fig. 8A, B, C), reflects the perpendicular cross segment, the Y axis is modeled based on the bathymetry data and elevation characteristics by 'psxy' module. The graph is visualized based on the numerical model received through the digitizing of the cross-section profiles for each of the three trenches.

Three types of the deep-sea trench shapes have been then identified for the detailed seafloor mapping and further exploration. The open-source GMT approach represents a cost-effective approach to visualize seafloor in a geographically remotely located areas such as hadal trenches. The approach also delivers a knowledge base upon which more detailed studies on links between geology, tectonics and bathymetry can be identified and founded. Hikurangi Trench presented unique characteristics of the seafloor as trough-shaped form.

By recognizing the geomorphic shape and geologic environments at the seabed, distinctly different from Puysegur and Hjort Trenches, a gradual decrease of depths along the slope of the North Island was observed. Targeted seafloor mapping in cross-sections highlighted active seafloor processes have created unique geomorphic picture for the three trenches.

Acknowledgements

The author gratefully acknowledges the anonymous referees for their comments and review which improved the initial manuscript. The research was performed during the author's study in Ocean University of China and funded by China Scholarship Council (CSC), State Oceanic Administration (SOA), Marine Scholarship of China, Grant Nr. 2016SOA002, People's Republic of China, and implemented in the framework of the Project Nr. 0144-2019-0011, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences.

7. References

- Akan, Ç., McWilliams, J.C., Uchiyama, Y., 2020. Topographic and coastline influences on surf Eddies. *Ocean Modelling* 147, 101565. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2019.101565>
- Amante, C., Eakins, B.W., 2009. Etopo1 1 arc-minute global relief model: Procedures, data sources and analysis. NOAA technical memorandum. <http://dx.doi.org/10.7289/V5C8276M>
- Ballance, P.F., 1976. Evolution of the upper Cenozoic magmatic arc and plate boundary in northern New Zealand. *Earth and Planetary Science Letters* 28, 356–370. [http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X\(76\)90197-7](http://dx.doi.org/10.1016/0012-821X(76)90197-7)
- Barker, D.H.N., Sutherland, R., Henrys, S., Bannister, S., 2009. Geometry of the Hikurangi subduction thrust and upper plate, North Island, New Zealand. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 10, 1–23. (Q02007). <http://dx.doi.org/10.1029/2008GC002153>
- Barnes, P.M., Lamarche, G., Bialas, J., Henrys, S., Pecher, I., Netzeband, G.L., Crutchley, G., 2010. Tectonic and geological framework for gas hydrates and cold seeps on the Hikurangi subduction margin, New Zealand. *Marine Geology* 272, 26–48.
- Barnes, P.M., Mercier de Lepinay, B., 1997. Rates and mechanics of rapid frontal accretion along the very obliquely convergent southern Hikurangi margin, New Zealand. *Journal of Geophysical Research* 102, 24931–24952. <http://dx.doi.org/10.1029/97JB01384>
- Beavan, J., Haines, J., 2001. Contemporary horizontal velocity and strain rate fields of the Pacific-Australian plate boundary zone through New Zealand. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 106, 741–770. <http://dx.doi.org/10.1029/2000JB900302>
- Becker, J.J., Sandwell, D.T., Smith, W.H.F., Braud, J., Binder, B., Depner, J., Fabre, D., Factor, J., Ingalls, S., Kim, S.-H., Ladner, R., Marks, K., Nelson, S., Pharaoh, A., Trimmer, R., Von Rosenberg, J., Wallace, G., Weatherall, P., 2009. Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30_PLUS. *Marine Geodesy* 32(4), 355–371.
- Berryman, K., Ota, Y., Miyauchi, T., Hull, A., Clark, K., Ishibashi, K., Litchfield, N., 2011. Holocene paleoseismic history of upper-plate faults in the Southern Hikurangi subduction margin, New Zealand, deduced from marine terrace records. *Bulletin of the Seismological Society of America* 101, 2064–2087.
- Berryman, K.R., 1993. Distribution, age, and deformation of Late Pleistocene marine terraces at Mahia peninsula, Hikurangi subduction margin, New Zealand. *Tectonics* 12, 1365–1379. <http://dx.doi.org/10.1029/93TC01543>
- Brothers, D.S., Miller, N.C., Barrie, J.V., Haeussler, P.J., Greene, H.G., Andrews, B.D., Zielke, O., Watt, J., Dartnell, P., 2020. Plate boundary localization, slip-rates and rupture segmentation of the Queen Charlotte Fault based on submarine tectonic geomorphology. *Earth and Planetary Science Letters* 530, 115882. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2019.115882>
- Bursztyn, N., Pederson, J.L., Tressler, C., Mackley, R.D., Mitchell, K.J., 2015. Rock strength along a fluvial transect of the Colorado Plateau – quantifying a fundamental control on geomorphology. *Earth and Planetary Science Letters* 429, 90–100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2015.07.042>
- Cazenave, A., Ruff, L., 1985. Seasat geoid anomalies and the macquarie ridge complex. Food and agriculture organization of the united nations.
- Clark, K., Howarth, J., Litchfield, N., Cochran, U., Turnbull, J., Dowling, L., Wolf, F., 2019. Geological evidence for past large earthquakes and tsunamis along the Hikurangi subduction margin, New Zealand. *Marine Geology* 412, 139–172.
- Dahlin, T., Svensson, M., Lindh, P., 1999. DC Resistivity and SASW for Validation of Efficiency in Soil Stabilisation Prior to Road Construction. *Procs. EEGS'99, Budapest, Hungary, 6–9 September 1999*, Ls5, 1–3. <http://dx.doi.org/10.3997/2214-4609.201406466>
- Gales, J.A., Larter, R.D., Mitchell, N.C., Dowdeswell, J.A., 2013. Geomorphic signature of Antarctic submarine gullies: Implications for continental slope processes. *Marine Geology* 337, 112–124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2013.02.003>
- Gauger, S., Kuhn, G., Gohl, K., Feigl, T., Lemenkova, P., Hillenbrand, C., 2007. Swath-bathymetric mapping. *Reports on Polar and Marine Research* 557, 38–45.
- GEBCO Compilation Group 2020. GEBCO 2020 Grid. <http://dx.doi.org/10.5285/a29c5465-b138-234d-e053-6c86abc040b9>
- Greinert, J., Lewis, K.B., Bialas, J., Pecher, I.A., Rowden, A., Bowden, D.A., Linke, P., 2010. Methane seepage along the Hikurangi Margin, New Zealand: Overview of studies in 2006 and 2007 and new evidence from visual, bathymetric and hydroacoustic investigations. *Marine Geology* 272, 6–25.
- Harris, P.T., Barrie, J.V., Conway, K.W., Greene, H.G., 2014. Hanging canyons of Haida Gwaii, British Columbia, Canada: Fault-control on submarine canyon geomorphology along active continental margins. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 104, 83–92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.06.017>
- Hodgson, D.A., Graham, A.G.C., Griffiths, H.J., Roberts, S.J., Cofaigh, C.Ó., Bentley, M.J., Evans, D.J.A., 2014. Glacial history of sub-Antarctic South Georgia based on the submarine geomorphology of its fjords. *Quaternary Science Reviews* 89, 129–147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.12.005>
- Jiao, R., Seward, D., Little, T.A., Kohn, B.P., 2015. Unroofing of fore-arc ranges along the Hikurangi Margin, New Zealand: Constraints from low-temperature thermochronology. *Tectonophysics* 656, 39–51.
- Klaucke, I., Weinrebe, W., Petersen, C.J., Bowden, D., 2010. Temporal variability of gas seeps offshore New Zealand: Multi-frequency geoacoustic imaging of the Wairarapa area, Hikurangi margin. *Marine Geology* 272, 49–58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2009.02.009>
- Klaučo, M., Gregorova, B., Stankov, U., Markovic, V., Lemenkova, P., 2013a. Determination of ecological significance based on geo-statistical assessment: A case study from the Slovak Natura 2000 protected area. *Central European Journal of Geosciences* 5, 28–42.
- Klaučo, M., Gregorová, B., Stankov, U., Marković, V., Lemenkova, P., 2013b. Interpretation of Landscape Values, Typology and Quality Using Methods of Spatial Metrics for Ecological Planning. 54th International Conference Environmental & Climate Technologies, October 14, 2013. Riga, Latvia.
- Klaučo, M., Gregorová, B., Stankov, U., Marković, V., Lemenkova, P., 2017. Land planning as a support for sustainable development based on tourism: A case study of Slovak Rural Region. *Environmental Engineering and Management Journal* 2(16), 449–458.
- Krabbenhoef, A., Bialas, J., Klaucke, I., Crutchley, G., Papenberg, C., Netzeband, G.L., 2013. Patterns of subsurface fluid-flow at cold seeps: The Hikurangi Margin, offshore New Zealand. *Marine and Petroleum Geology* 39, 59–73.
- Krabbenhoef, A., Netzeband, G.L., Bialas, J., Papenberg, C., 2010. Episodic methane concentrations at seep sites on the upper slope Opuawe Bank, southern Hikurangi Margin, New Zealand. *Marine Geology* 272, 71–78. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2009.08.001>
- Kuhn, G., Hass, C., Kober, M., Petitot, M., Feigl, T., Hillenbrand, C.D., Kruger, S., Forwick, M., Gauger, S., Lemenkova, P., 2006. The response of quaternary climatic cycles in the South-East Pacific: Development of the opal belt and dynamics behavior of the West Antarctic ice sheet. *Expeditionsprogramm Nr. 75 ANT XXIII/4*.
- Lamarche, G., Collot, J.-Y., Wood, R.A., Sosson, M., Sutherland, R., Delteil, J., 1997. The Oligocene-Miocene Pacific-Australian plate boundary, South of New Zealand: Evolution from oceanic spreading to strike-slip faulting. *Earth and Planetary Science Letters* 148, 129–139.
- Lamarche, G., Lebrun, J.-F., 2000. Transition from strike-slip faulting to oblique subduction: Active tectonics at the Puysegur Margin, South New Zealand. *Tectonophysics* 316, 67–89.
- Lemenkova, P., 2011. Seagrass mapping and monitoring along the coasts of Crete, Greece. M.Sc. Thesis, University of Twente.

- Lemenkova, P., Promper, C., Glade, T., 2012. Economic Assessment of Landslide Risk for the Waidhofen a.d. Ybbs Region, Alpine Foreland, Lower Austria, [In:] Eberhardt, E. *et al.* (eds.), Protecting society through improved understanding. 11th International Symposium on Landslides & the 2nd North American Symposium on Landslides & Engineered Slopes (NASL), June 2–8, 2012. Banff, AB, Canada, 279–285.
- Lemenkova, P., 2018a. Factor Analysis by R Programming to Assess Variability Among Environmental Determinants of the Mariana Trench. *Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences* 4, 146–155.
- Lemenkova, P., 2018b. R scripting libraries for comparative analysis of the correlation methods to identify factors affecting Mariana Trench formation. *Journal of Marine Technology and Environment* 2, 35–42.
- Lemenkova, P., 2019a. GMT Based Comparative Analysis and Geomorphological Mapping of the Kermadec and Tonga Trenches, Southwest Pacific Ocean. *Geographia Technica* 14, 39–48.
- Lemenkova, P., 2019b. Topographic surface modelling using raster grid datasets by GMT: Example of the Kuril-Kamchatka Trench, Pacific Ocean. *Reports on Geodesy and Geoinformatics* 108, 9–22.
- Lemenkova, P., 2019c. Geophysical Modelling of the Middle America Trench using GMT. *Annals of Valahia University of Targoviste. Geographical Series* 19(2), 73–94.
- Lemenkova, P., 2019d. Statistical Analysis of the Mariana Trench Geomorphology Using R Programming Language. *Geodesy and Cartography* 45, 57–84.
- Lemenkova, P., 2019e. Testing Linear Regressions by StatsModel Library of Python for Oceanological Data Interpretation. *Aquatic Sciences and Engineering* 34, 51–60. <http://dx.doi.org/10.26650/ASE2019547010>
- Lemenkova, P., 2019f. Geomorphological modelling and mapping of the Peru-Chile Trench by GMT. *Polish Cartographical Review* 51(4), 181–194.
- Lemenkova, P., 2019g. Automatic Data Processing for Visualising Yap and Palau Trenches by Generic Mapping Tools. *Cartographic Letters* 27(2), 72–89.
- Lemenkova, P., 2019h. AWK and GNU Octave Programming Languages Integrated with Generic Mapping Tools for Geomorphological Analysis. *GeoScience Engineering* 65(4), 1–22.
- Lemenkova, P., 2020. Variations in the bathymetry and bottom morphology of the Izu-Bonin Trench modelled by GMT. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series* 18(1), 41–60. <http://dx.doi.org/10.2478/bgeo-2020-0004>
- Lemoine, F.G., Kenyon, S.C., Factor, J.K., Trimmer, R.G., Pavlis, N.K., Chinn, D.S., Cox, C.M., Klosko, S.M., Luthcke, S.B., Torrence, M.H., Wang, Y.M., Williamson, R.G., Pavlis, E.C., Rapp, R.H., Olson, T.R., 1998. NASA/TP-1998-206861: The Development of the Joint NASA GSFC and NIMA Geopotential Model EGM96, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 20771 USA.
- Lindh, P., 2004. Compaction- and strength properties of stabilised and unstabilised fine-grained tills. Lund University. PhD Thesis.
- Lodolo, E., Coren, F., 1994. The Westernmost Pacific Antarctic plate boundary in the vicinity of the Macquarie triple junction. *Terra Antarctica* 1, 158–161.
- Martin, R.A., Nesbitt, E.A., Campbell, K.A., 2010. The effects of anaerobic methane oxidation on benthic foraminiferal assemblages and stable isotopes on the Hikurangi Margin of eastern New Zealand. *Marine Geology* 272, 270–284.
- McCalpin, J.P., Gutierrez, F., Bruhn, R.L., Guerrero, J., Pavlis, T.L., Lucha, P., 2020. Tectonic geomorphology and late Quaternary deformation on the Ragged Mountain fault, Yakutat microplate, South Coastal Alaska. *Geomorphology* 351, 106875. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106875>
- Meckel, T.A., Coffin, M.F., Mosher, S., Symonds, P., Bernardel, G., Mann, P., 2003. Underthrusting at the Hjort Trench, Australian-Pacific plate boundary: Incipient subduction? *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 4, 1099. <http://dx.doi.org/10.1029/2002GC000498>
- Melhuish, A., Sutherland, R., Davey, F.J., Lamarche, G., 1999. Crustal structure and neotectonics of the Puysegur oblique subduction zone, New Zealand. *Tectonophysics* 313, 335–362.
- Neal, C.R., Mahoney, J.J., Kroenke, L.W., Duncan, R.A., Petterson, M.G., 1997. The Ontong Java Plateau. *Geophysical Monograph Series* 100, 183–216.
- Nicol, A., Wallace, L.M., 2007. Temporal stability of deformation rates: Comparison of geological and geodetic observations, Hikurangi subduction margin, New Zealand. *Earth and Planetary Science Letters* 258, 397–413. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2007.03.039>
- Nitsche, F.O., Jacobs, S.S., Larter, R.D., Gohl, K., 2007. Bathymetry 393 of the Amundsen Sea continental shelf: Implications for geology, oceanography, and glaciology. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 395 8. <http://dx.doi.org/10.1029/2007GC001694>
- Niyazi, Y., Eruteya, O.E., Omosanya, K.O., Harishidayat, D., Johansen, S.E., Waldmann, N., 2018. Seismic geomorphology of submarine channel-belt complexes in the Pliocene of the Levant Basin, offshore central Israel. *Marine Geology* 403, 123–138. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2018.05.007>
- O'Brien, P.E., Post, A.L., Edwards, S., Martin, T., Caburlootto, A., Donda, F., Leitchenkov, G., Romeo, R., Duffy, M., Evangelinos, D., Holder, L., Leventer, A., López-Quirós, A., Opdyke, B.N., Armand, L.K., 2020. Continental slope and rise geomorphology seaward of the Totten Glacier, T East Antarctica (112°E–122°E). *Marine Geology* 427, 106221.
- Olson, C.J., Becker, J.J., Sandwell, D.T., 2014. A new global bathymetry map at 15 arcsecond resolution for resolving seafloor fabric: SRTM15_PLUS, AGU Fall Meeting Abstracts 2014.
- Pecher, I.P., Henrys, S.A., Wood, W.T., Kukowski, N., Crutchley, G.J., Fohrmann, M., Faure, K., 2010. Focussed fluid flow on the Hikurangi Margin, New Zealand – Evidence from possible local upwarping of the base of gas hydrate stability. *Marine Geology* 272, 99–113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2009.10.006>
- Pysklywec, R.N., Ellis, S.M., Gorman, A.R., 2010. Three-dimensional mantle lithosphere deformation at collisional plate boundaries: A subduction scissor across the South Island of New Zealand. *Earth and Planetary Science Letters* 289, 334–346.
- Reyes, A.G., Christenson, B.W., Faure, K., 2010. Sources of solutes and heat in low-enthalpy mineral waters and their relation to tectonic setting, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 192, 117–141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.02.015>
- Reyners, M., 2013. The central role of the Hikurangi Plateau in the Cenozoic tectonics of New Zealand and the Southwest Pacific. *Earth and Planetary Science Letters* 361, 460–468.
- Reyners, M., Eberhart-Phillips, D., Bannister, S., 2011. Tracking repeated subduction of the Hikurangi Plateau beneath New Zealand. *Earth and Planetary Science Letters* 311, 165–171.
- Sandwell, D.T., Müller, R.D., Smith, W.H.F., Garcia, E., Francis, R., 2014. New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure. *Science*, 346, 6205, 65–67. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1258213>
- Schenke, H.W., Lemenkova, P., 2008. Zur Frage der Meeresboden-Kartographie: Die Nutzung von AutoTrace Digitizer für die Vektorisierung der Bathymetrischen Daten in der Petschora-See. *Hydrographische Nachrichten* 81, 16–21.
- Serra, C.S., Martínez-Loriente, S., Gràcia, E., Urgeles, R., Vizcaino, A., Perea, H., Bartolome, R., Pallàs, R., Lo Iacono, C., Diez, S., Dañoebitia, J., Terrinha, P., Zitellini, N. 2020. Tectonic evolution, geomorphology and influence of bottom currents along a large submarine canyon system: The São Vicente Canyon (SW Iberian margin). *Marine Geology* 426, 106219. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106219>
- Suetova, I., Ushakova, L., Lemenkova, P., 2005. Geoinformation mapping of the Barents and Pechora Seas. *Geography and Natural Resources* 4, 138–142.
- Sutherland, R., Barnes, P., Uruski, C., 2006. Miocene-recent deformation, surface elevation, and volcanic intrusion of the overriding plate during subduction initiation, offshore southern Fiordland, Puysegur Margin, Southwest New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 49, 131–149.
- Trevisan, A., Venema, V., Kollet, S., Rahman, M., 2020. The topographic control on land surface energy fluxes: A statistical approach to bias correction. *Journal of Hydrology* 584, 124669. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124669>

-
- Wallace, L., Reyners, M., Cochran, U., Bannister, S., Barnes, P., Berryman, K., Power, W.L., 2009. Characterizing the seismogenic zone of a major plate boundary subduction thrust: The Hikurangi Margin. *Geochemistry. Geophysics. Geosystems* 10.
- Wang, H., Crutchley, G.J., Stern, T., 2017. Gas hydrate formation in compressional, extensional and un-faulted structural settings – Examples from New Zealand's Hikurangi margin. *Marine and Petroleum Geology* 88, 69–80.
- Wells, D., Monahan, D., 2002. IHO S44 Standards for Hydrographic surveys and the variety of requirements for bathymetric data. *The Hydrographic Journal*, 104, 9–16
- Wessel, P., Smith, W.H.F., 2018. *The Generic Mapping Tools. Version 4.5.18 Technical Reference and Cookbook. Computer software manual. U.S.A.*



Daniel Przybyszewski

Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych
E-mail: daniel.prybyszewski1@gmail.com

Zastosowanie metody ankietowej w badaniach fizycznogeograficznych: kwantyfikacja kulturowych świadczeń ekosystemowych w gminie Kowal

The application of the survey method in physico-geographical research: quantification cultural ecosystem services in the Kowal commune

Zarys treści

Głównym celem artykułu jest określenie wartości metody ankietowej w badaniach fizycznogeograficznych. Natomiast celem drugorzędym – próba zbadania kulturowych świadczeń ekosystemowych. Badaniami objęto gminę Kowal, położoną w południowo-wschodniej części województwa kujawsko-pomorskiego. Główny cel zrealizowano testując i ustalając stopień użyteczności metody ankietowej w badaniach kulturowych świadczeń ekosystemowych. Przeprowadzona ankieta społeczna dotyczyła opinii w sprawie walorów środowiska przyrodniczego i wartości wypoczynkowej w gminie Kowal. Wartości te określają grupy i klasy konkretnych świadczeń kulturowych. Przy analizie wyników uzyskanych z kwestionariuszy, dokonano oceny doboru respondentów pod względem ich powiązania z regionem oraz odniesiono się do udzielonych przez nich odpowiedzi o stanie środowiska obszaru. Wykorzystanie metody ankietowej w badaniach i kwantyfikacji świadczeń kulturowych jest najczęściej stosowaną metodą, która daje dobre możliwości przy ocenie oraz oddziaływania na środowisko.

Słowa kluczowe Kulturowe świadczenia ekosystemowe, metoda ankietowa, badania fizycznogeograficzne, gmina Kowal.

Abstract

The main purpose of the article is to determine the value of the survey method in physical and geographical research. Whereas the subordinate goal – an attempt to explore cultural ecosystem services. The research covered the Kowal commune, located in the south-eastern part of the Kuyavian-Pomeranian Voivodeship. The main goal was achieved by testing and determining the degree of usability of the survey method in the study of cultural ecosystem services. The conducted social survey concerned opinions on the values of the natural environment and recreational value in the municipality of Kowal. These values define the groups and classes of specific cultural services. When analyzing the results obtained from questionnaires, an assessment was made of the selection of respondents in terms of their relationship with the region and refer to their responses about the state of the environment of the area. The use of the questionnaire method in research and quantification of cultural services is the most frequently used method, which gives good opportunities for assessing and impact on the environment.

Keywords Cultural ecosystem services, survey method, physico-geographical research, Kowal commune.

1. Wprowadzenie

Badania nad świadczeniami ekosystemowymi są obecnie intensywnie rozwijającym się nurtem badawczym. Jest to przykład badań, które w dużej mierze czerpią z nauk przyrodniczych, a zarazem korzystają z metodologii nauk społecznych i ekonomicznych (Lupa 2016; Solon i in. 2017).

W niniejszym artykule określenie „świadczenia ekosystemowe” odnosi się do materialnych oraz pozamaterialnych korzyści, które może czerpać człowiek ze struktury i funkcji układów w środowisku przyrodniczym (Costanza i in. 1997, 2012; Mizgajski, Stępniewska 2009; Lupa 2016). W celu zastosowania, a co ważniejsze przystosowania koncepcji świadczeń ekosystemowych do skali globalnej, potrzebna jest kwantyfikacja świadczeń w skali lokalnej (Poskrobko 2010). Ma to znaczenie przede wszystkim dlatego, że wiele świadczeń jest wytwarzanych i dostarczanych właśnie w skali lokalnej. Idea świadczeń ekosystemowych odnosi się do korzyści czerpanych przez ludzi z relacji człowiek–przyroda. Świadczenia ekosystemowe

umożliwiają udoskonalenie zasad trwałego rozwoju, wpływając na sposób gospodarowania środowiskiem przez organy administracji publicznej, co z kolei skutkuje poprawą dobrobytu dla lokalnej społeczności. Takie stanowisko zajmuje wielu autorów, m.in.: Costanza i in. (1997), De Groot i in. (2002) i Solon (2008). Jednak podejście to jest jeszcze rzadko uwzględniane w sferze publicznej i administracyjnej (Pietrzyk-Kaszyńska, Grodzińska-Jurczak 2012).

Artykuł koncentruje się na kulturowych świadczeniach ekosystemowych. Są one grupą usług niematerialnych odbieranych w sposób multisensoryczny. Wycena kulturowych świadczeń ekosystemowych wymaga wielotorowej analizy. Artykuł stanowi przykład pracy, w której autor podejmuje się identyfikacji kulturowych świadczeń ekosystemowych w skali lokalnej. Obszar testowy stanowi gmina Kowal. Przeprowadzone badanie miało na celu ukazać przydatność metody ankietowej w badaniach fizycznogeograficznych. Uzyskane wyniki pozwoliły na dokonanie waloryzacji elementów środowiska przyrodniczego gminy Kowal oraz wskazanie na możliwe wartości wypoczynkowe

na jej terenie, utożsamione w zamyśle autora z kulturowymi świadczeniami ekosystemowymi (Haines-Young, Potschin 2018). Zastosowanie metody kwestionariuszowej, sondażowej lub wywiadu bezpośredniego obecnie jest szeroko wykorzystywane w badaniach kulturowych świadczeń ekosystemowych (np. Plieninger i in. 2013; Bartczak, Żylicz 2014; Jobstvogt i in. 2014; van Berkel, Verburg 2014; Bertram, Rehdanz 2015; Junge i in. 2015; Lupa 2016; Ungaroa i in. 2016).

Teren badań, który stanowi gmina Kowal, zgodnie z regionalizacją fizycznogeograficzną Polski według Kondrackiego (2001), w modyfikacji Solona i in. (2018), położony jest na pograniczu dwóch mezoregionów. Biorąc pod uwagę genezę i wiek rzeźby, obszar ten zajmuje brzeźną część łobu płockiego łądłodu vistuliańskiego (Roman 2010) i część pradoliny Wisły. Południowy fragment gminy obejmuje Pojezierze Kujawskie, natomiast północny – Kotlinę Płocką. Według klasyfikacji ekologiczno-krajobrazowej opracowanej przez Mizgajskiego i Stępniewską (2012) na potrzeby „Oceny świadczeń ekosystemów dla Polski”, gmina Kowal położona jest w regionie charakteryzującym się wysoką podażą świadczeń kulturowych. Odznacza się znacznym udziałem ekosystemów leśnych, tym samym wysoką różnorodnością biologiczną i walorami rekreacyjnymi. Północno-wschodni fragment gminy obejmuje część (3 381 ha) Gostynińsko-Włocławskiego Parku Krajobrazowego (GWPK), który stanowi 8,7% powierzchni całej gminy (Operat Generalny... 2007). GWPK zajmuje jeden z największych kompleksów leśnych Niziny Mazowieckiej. Wyróżnia się na tle sąsiednich obszarów niewielką przemianą antropogeniczną. Posiada urozmaiconą rzeźbę terenu bogatą w jeziora, tereny podmokłe, zabagnione o zróżnicowanej roślinności oraz faunie. Znaczne zróżnicowanie warunków siedliskowych na obszarze Parku, od skrajnie wilgotnych do suchych, kształtują dogodne warunki umożliwiające bytowanie licznych gatunków oraz zespołów fauny.

2. Charakterystyka kulturowych świadczeń ekosystemowych

Badania dotyczące kulturowych świadczeń ekosystemowych w ciągu ostatnich 20 lat podlegały intensyfikacji – w różnym stopniu rozwojowi, modyfikacji, a w konsekwencji unifikacji. Grupa świadczeń kulturowych była tym samym rozmaicie opisywana oraz różnie wydzielana przez liczne klasyfikacje (Costanza i in. 1997; MEA¹ 2005; ESME-RALDA², Haines-Young, Potschin 2018), jednak ich rola oraz obecność jest powszechna i bezsprzeczna (Kulczyk 2016).

Analiza kulturowych świadczeń ekosystemowych zależy od charakteru zasobów naturalnych oraz ich dostępności, a także od zapotrzebowania na konkretne

usługi (Kulczyk i in. 2014). Człowiek stanowi organizm autonomiczny, który podczas badania percepcji środowiska zarówno wielowymiarowo reaguje, jak i postrzega otoczenie zewnętrzne. Jednak zarówno organizm człowieka, jak i biogeosystem stanowią układy otwarte. Są one ściśle ze sobą związane, co wpływa na stan obu podmiotów oraz bezpośrednią wymianę między nimi energii, materii i informacji (Kowalczyk 1992). Kulturowe świadczenia ekosystemowe bazują na kompilacji związków między wartościami materialnymi i niematerialnymi. Cechy energetyczno-dynamiczne i materialne środowiska są postrzegane jako największe wartości dla człowieka, natomiast doświadczenia związane z fizjonomią środowiska, a ściślej jego ujęciem estetycznym wpływają na percepcję wartości niematerialnych (Brown 2006; Raymond i in. 2009; van Riper i in. 2012).

Według klasyfikacji CICES³ v. 5.1 (Haines-Young, Potschin 2018) (Tab. 1), kulturowe świadczenia ekosystemowe odnoszą się do trzech działów, które obejmują:

- bezpośrednie interakcje z żywymi systemami wymagające przebywania w środowisku;
- pośrednie kontakty – w sensie wewnętrzne, nie fizyczne, często emocjonalne, niewymagające przebywania w środowisku;
- inne cechy żywych systemów, które mają znaczenie kulturowe (Tab. 1).

Percepcja oraz interakcje ze środowiskiem mają wpływ na działalność człowieka, natomiast fizyczny kontakt z elementami środowiska niekoniecznie jest wymagany. Oprócz rzeczywistej styczności z żywymi systemami, świadczenia kulturowe dostarczają szeroki zakres empirycznych, symbolicznych i sensorycznych cech odbieranych doświadczalnie, tudzież opartych na emocjach (Tab. 1), które wpływają przede wszystkim na poprawę jakości życia człowieka. Charakterystykę funkcji w ujęciu wykorzystania środowiska opisują wydzielone dalej grupy. Odnoszą się one do faktycznych interakcji człowieka ze środowiskiem w sposób:

- fizyczny i doświadczalny, np. pływanie w jeziorze, opalanie się, wędkowanie, wążanie kwiatów;
- intelektualny i reprezentatywny, np. tworzenie zielnika, angażowanie się w projekty Parków Krajobrazowych (projekt: „Poznajemy walory przyrodnicze i kulturowe GWPK”), makrofotografia, więzi społeczne/emocjonalne zbudowane dzięki powiązaniom z danym miejscem, gatunki, które budzą większą sympatię człowieka, np. panda wielka, a nie świnia domowa;
- duchowy, symboliczny, np. pola pod Grunwaldem, polana Chochołowska, na której kwitną krokusy, Puszcza Białowieska, Stonehenge, Wielki Kanion Kolorado;
- innych cech biotycznych, które nie posiadają wartości użytecznej, np. śpiew ptaków, zapach po burzy;
- jeszcze nieokreślony, co wynika z otwartego charakteru tej grupy świadczeń (Tab. 1).

¹ Millennium Ecosystem Assessment.

² Enhancing ecoSystem sERvices mApping for poLicy and Decision mAking.

³ Common International Classification of Ecosystem Services.

Tabela 1. Klasyfikacja i charakterystyka kulturowych świadczeń ekosystemowych (oprac. własne na podstawie Haines-Young, Potschin 2018)**Table 1.** Classification and characteristics of cultural ecosystem services (own study based on Haines-Young, Potschin 2018)

Dział	Grupa	Klasa	Kod	Prosty opis	Sposób wykorzystania	Pytanie z ankiety	
Bezpośrednie interakcje z żywymi systemami wymagające przebywania w środowisku	Fizyczne i doświadczalne interakcje ze środowiskiem naturalnym	Charakterystyka żywych systemów, która umożliwia działania promujące zdrowie, regenerację lub przyjemność poprzez aktywne interakcje	3.1.1.1	Wykorzystanie środowiska do sportu i rekreacji	Elementy, które angażują, są używane w sposób wymagający wysiłku fizycznego i poznawczego	1, 7, 8	
		Charakterystyka żywych systemów, która umożliwia działania promujące zdrowie, regenerację lub radość poprzez bierne interakcje	3.1.1.2	Oglądanie roślin i zwierząt w przestrzeni	Wykorzystywanie natury w przeciwdziałaniu stresu; elementy wykorzystywane przez inne pasywne sposoby percepcji, np. dzięki dźwiękom, zapachom itp.	5, 9	
	Intelektualne i reprezentatywne interakcje ze środowiskiem naturalnym	Charakterystyka żywych systemów umożliwiająca badania naukowe lub tworzenie wiedzy ekologicznej	3.1.2.1	Badanie środowiska, odkrywanie nowej wiedzy i stwierdzanie nowych faktów	Elementy stanowiące temat badań <i>in situ</i>	4	
		Charakterystyka żywych systemów umożliwiająca rozwój wiedzy: edukację i szkolenie	3.1.2.2	Studiowanie środowiska, uczenie się jak jest	Elementy stanowiące przedmiot nauczania <i>in situ</i> lub rozwoju umiejętności	2, 3, 5, 6	
		Charakterystyka żywych systemów, które mają swoje odbicie w kulturze lub dziedzictwie	3.1.2.3	Elementy środowiska, które pomagają ludziom identyfikować się z historią lub kulturą miejsca, gdzie mieszkają lub skąd pochodzą	Elementy, które przyczyniają się do rozwoju dziedzictwa kulturowego lub wiedzy historycznej	–	
		Charakterystyka żywych systemów, które umożliwiają doznania estetyczne	3.1.2.4	Piękno natury	Elementy, które są doceniane za ich piękno	2, 5, 6, 8	
	Pośrednie, często wewnętrzne interakcje z żywymi systemami, które nie wymagają przebywania w środowisku	Duchowe, symboliczne i inne interakcje ze środowiskiem naturalnym	Elementy środowiska, które mają znaczenie symboliczne	3.2.1.1	Wykorzystanie natury, jako reprezentatywnego elementu krajowego lub lokalnego	Elementy, które są rozpoznawane przez ludzi ze względu na ich kulturowe, historyczne lub ikoniczne znaczenie oraz używane jako emblemat/znak rozpoznawczy	2
			Elementy środowiska o znaczeniu świętym lub religijnym	3.2.1.2	Rzeczy w naturze, które mają duchowe znaczenie dla ludzi	Elementy, które są uważane za kultowe, święte lub religijne	–
Elementy środowiska wykorzystywane do rozrywki lub wzbudzające zainteresowanie			3.2.1.3	Elementy natury, które miały wpływ na rozwój kultury	Elementy zapewniające materiały lub tematy, które mogą być przekazywane innym m.in. za pośrednictwem mediów w celu rozrywki	–	
Inne cechy biotyczne, które nie mają wartości użytecznej		Charakterystyka lub cechy żywych systemów, które mają wartości egzystencjalne	3.2.2.1	Rzeczy w naturze, które osobistym zdaniem powinny być zachowane	Elementy, jakie ludzie starają się zachować ze względu na ich cechy, unikatowe z punktu widzenia indywidualnego odbiorcy	3	
		Charakterystyka lub cechy systemów żywych, które mają możliwość zapisu, upamiętnienia	3.2.2.2	Rzeczy w naturze, które przysłużą się przyszłym pokoleniom	Elementy, które ludzie chcą zachować dla przyszłych pokoleń bez powodu z perspektywy etycznej, moralnej	3	
Inne cechy środowiska		Inne cechy lub interakcje, które mogą wymagać kategoryzacji	Inne	3.3.X.X	–	–	–

Źródło: oprac. własne.

3. Metody i założenia badawcze

Zebrane dane umożliwiły kwantyfikację, czyli ilościowe ujęcie wybranych świadczeń ekosystemowych oraz wycenę walorów środowiska. Wykorzystana metoda ankietowa stanowi bezpośrednią, terenową metodę pozyskiwania danych. Badanie ankietowe przeprowadzono na próbie dostępnościowej obejmującej grupę stałych mieszkańców oraz osób czasowo i wielokrotnie przebywających na obszarze gminy Kowal. Pod względem nabytej wiedzy o badanym obszarze grupa respondentów była wyrównana, to znaczy ankietowani byli użytkownikami przestrzeni. Przygotowane na papierze kwestionariusze rozdawane i zbierane były w konkretnych punktach usytuowanych w mieście Kowal. Na dobór miejsca i czasu wpływ miały przede wszystkim wieloletnie obserwacje autora, które wynikają z jego zamieszkania na terenie badań. Zbieranie danych prowadzono w godzinach od 8 do około 12, nieregularnie od sierpnia do października 2019 r., od poniedziałku do piątku (oprócz śród) w wybranych sklepach, natomiast w środy przy miejskim targowisku, na którym cotygodniowo w Kowalu odbywa się targ. Ankiety rozdawane były wszystkim chętnym. Łącznie udało się rozdać 215 kwestionariuszy. Ankiety wypełniły 174 osoby, a więc poziom zwrotności wyniósł 81%. Przy wyborze próby badawczej autor zastosował dobór uznaniowy (ang. *convenience sampling*), czyli nielosowaną metodę doboru próby. Zaletą tej metody jest szybkość, łatwość i niski koszt ze względu na dobór uczestników, wynikający z ich dostępności oraz bliskości. Ankieta była anonimowa. Następnie formularze poddano analizie, a wyniki zestawiono w programie Excel 2013.

3.1. Konstrukcja kwestionariusza

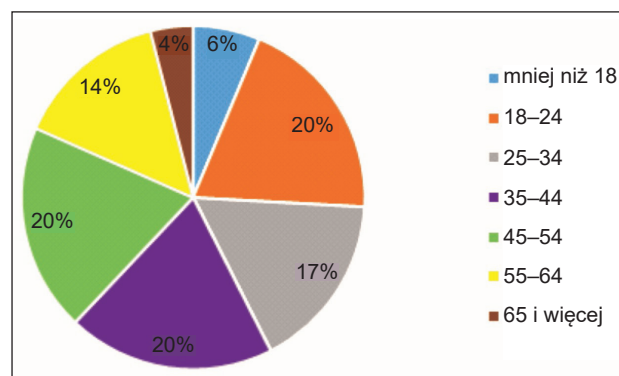
Formularz ankiety został skonstruowany na podstawie kwestionariusza opracowanego przez Lupę (2016). Modyfikacja oryginalnego kwestionariusza polegała na wyborze pytań, które odnosiły się do rodzajów krajobrazu oraz elementów, cech i stanu środowiska odpowiadającym kulturowym świadczeniom ekosystemowym. Tym samym wykorzystywane określenia, m.in. „krajobraz” czy „elementy środowiska”, nie są tożsame. Sugestywnie postawione respondentowi pytania miały odnosić się do różnych ośrodków percepcji w procesie postrzegania, uwzględniając różne zmysły u człowieka podczas oceny konkretnych pytań. W celu uzyskania wysokiego wskaźnika zwrotu ankiet, zawarte pytania miały formę zamkniętą. Większość pytań była wielokrotnego wyboru. Odpowiedzi respondentów zredukowane zostały do możliwości wyboru wariantów, co pozwoliło określić konkretne świadczenie kulturowe charakteryzujące daną klasę. Aby dokonać analizy oraz nadać wartości mierzonym cechom autor poddał skalowaniu uzyskane dane. Pytania w ankietach zostały oparte o skalę nominalną oraz porządkową.

Kwestionariusz podzielony został na trzy zasadnicze części. Część pierwsza – wprowadzająca miała na celu poznanie punktu widzenia ankietowanych na temat walorów przyrodniczych oraz możliwości wypoczynku na terenie gminy Kowal. Obejmowała dziewięć pytań, które dotyczyły

cech środowiska atrakcyjnych dla respondentów pod kątem przyjemności dostarczanych poprzez wypoczynek oraz walory estetyczne (widokowe). Część druga dotyczyła metody wyceny warunkowej mających ukazać preferencje zachowań prośrodowiskowych osób ankietowanych (Boćkowski, Rogowski 2018). Na wstępie przedłożony został hipotetyczny opis, w którym przedstawiono drastyczne pogorszenie się stanu środowiska przyrodniczego na terenie gminy Kowal oraz utratę dotychczasowych warunków wypoczynkowych⁴. Część trzecia miała charakter formalny. Obejmowała sześć pytań związanych z określeniem: płci, wieku, miejsca zamieszkania respondentów, ich wykształcenia, statusu zawodowego i ekonomicznego określonego wysokością dochodów.

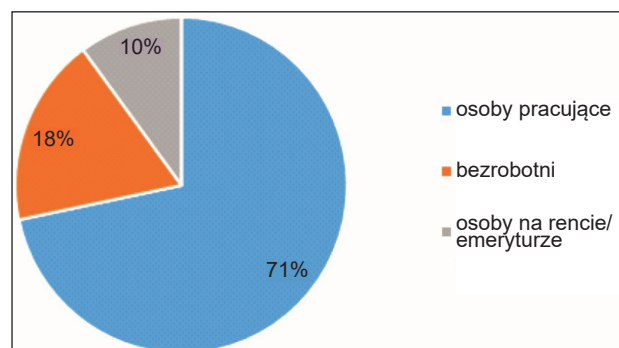
4. Charakterystyka respondentów

W przeprowadzonym badaniu spośród osób, które oddały formularze 52% stanowiły kobiety. Ankietowani podzieleni zostali na 7 grup wiekowych (Ryc. 1): od osób niepełnoletnich – poniżej 18. roku życia, które stanowiły 6% ogółu respondentów do osób w wieku emerytalnym – powyżej 65. roku, których grupa obejmowała 4% badanych. 90% ankietowanych to osoby w wieku produkcyjnym, z czego 71% to osoby pracujące (Ryc. 2).



Ryc. 1. Struktura respondentów według wieku (oprac. własne)

Fig. 1. Structure of respondents by age (own study)

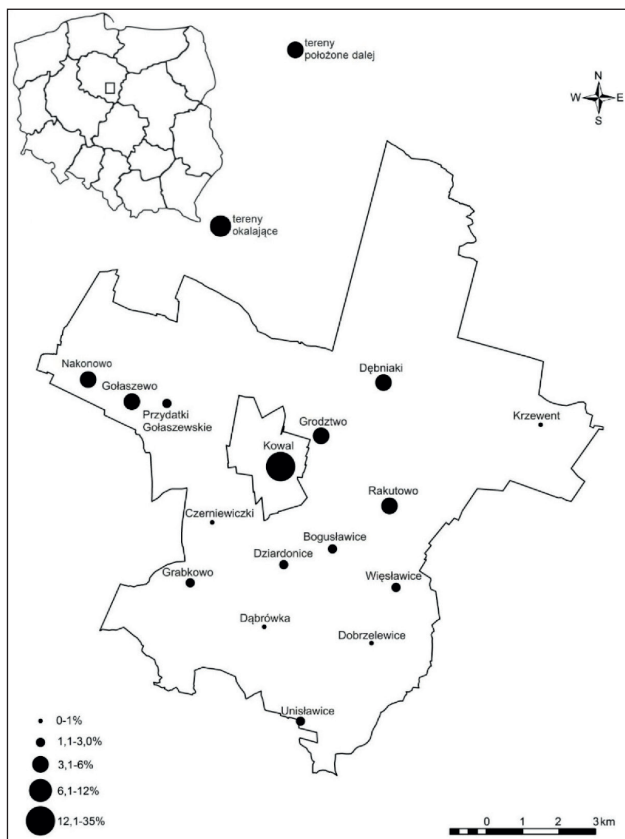


Ryc. 2. Struktura respondentów według aktywności ekonomicznej (oprac. własne)

Fig. 2. Structure of respondents according to economic activity (own study)

⁴ W niniejszym artykule część druga nie została wykorzystana, natomiast jej wyniki zostały opisane w pracy „Charakterystyka wybranych ekosystemowych świadczeń kulturowych w gminie Kowal”.

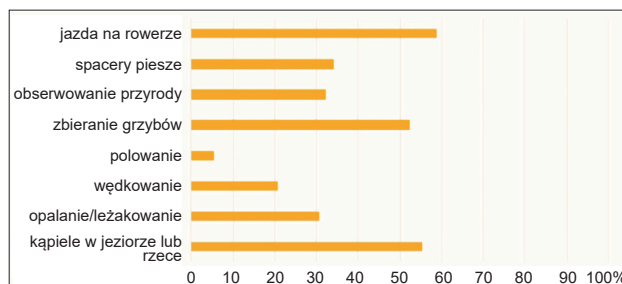
Największy odsetek respondentów (76%) stanowią lokalni mieszkańcy gminy Kowal, z których aż 35% to osoby zamieszkujące miasto Kowal. Przyjezdni z terenów okalających badaną gminę, głównie z Włocławka i Lubienia Kujawskiego, stanowią 18% wszystkich ankietowanych, natomiast przyjezdni z dalej położonych miejscowości, tj. Łodzi, Zgierza, Inowrocławia czy Strzelna – 6% ogółu badanych (Ryc. 3). Wykształcenie wyższe posiada 24% ankietowanych, średnie 41%, natomiast niższe (podstawowe, gimnazjalne lub zasadnicze zawodowe) 35% badanych.



Ryc. 3. Struktura respondentów według miejsca pochodzenia w gminie Kowal (oprac. własne)

Fig. 3. Structure of respondents by place of origin in the Kowal commune (own study)

Odnosząc się do preferencji respondentów związanej z formą spędzania czasu wolnego, najpowszechniej uprawianą formą wypoczynku, czy to aktywnego czy biernego na terenie gminy Kowal, okazała się jazda na rowerze (59%). Ponad połowa ankietowanych zadeklarowała, iż swój czas wolny spędza na kąpielach w jeziorze lub rzece (55%), czy na zbieraniu grzybów (52%). Wśród analizowanych form wypoczynku najmniejszym zainteresowaniem cieszy się wędkowanie (21%) i polowanie (5%) (Ryc. 4). Taki wybór może wynikać z konieczności posiadania zezwoleń (karty wędkarskiej) czy przynależności do koła łowieckiego.

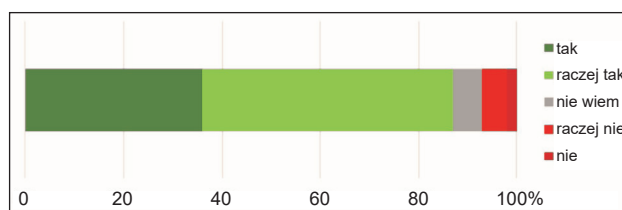


Ryc. 4. Preferencje w zakresie korzystania z form wypoczynku na terenie gminy Kowal (oprac. własne)

Fig. 4. Preferences regarding the use of leisure activities in the Kowal commune (own study)

5. Ocena walorów środowiska przez respondentów

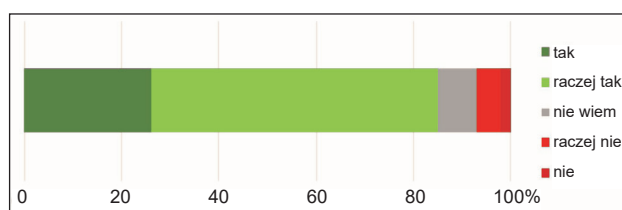
Etap analityczny rozpoczął się kontrolnym przeglądem zgromadzonych danych, które wykazały, że gmina Kowal odznacza się w opinii badanej zbiorowości wysokimi walorami przyrodniczymi (Ryc. 5). Aż 87% respondentów udzieliło aprobującej odpowiedzi na pytanie „Czy gmina Kowal odznacza się wysokimi walorami przyrodniczymi”, a jedynie 7% ogółu wyraziło niezadowolenie z ogólnej atrakcyjności badanego obszaru.



Ryc. 5. Wynik ankiety: Czy gmina Kowal odznacza się wysokimi walorami przyrodniczymi? (oprac. własne)

Fig. 5. Survey result: Does the commune of Kowal have high natural values? (own study)

Tym samym, 85% ankietowanych była zadowolonych ze stanu środowiska przyrodniczego gminy Kowal, odpowiedzi „raczej nie” oraz „nie” udzieliło 7% respondentów. Natomiast 8% uczestników badania nie potrafiło określić swojej opinii na zadane pytanie (Ryc. 6).



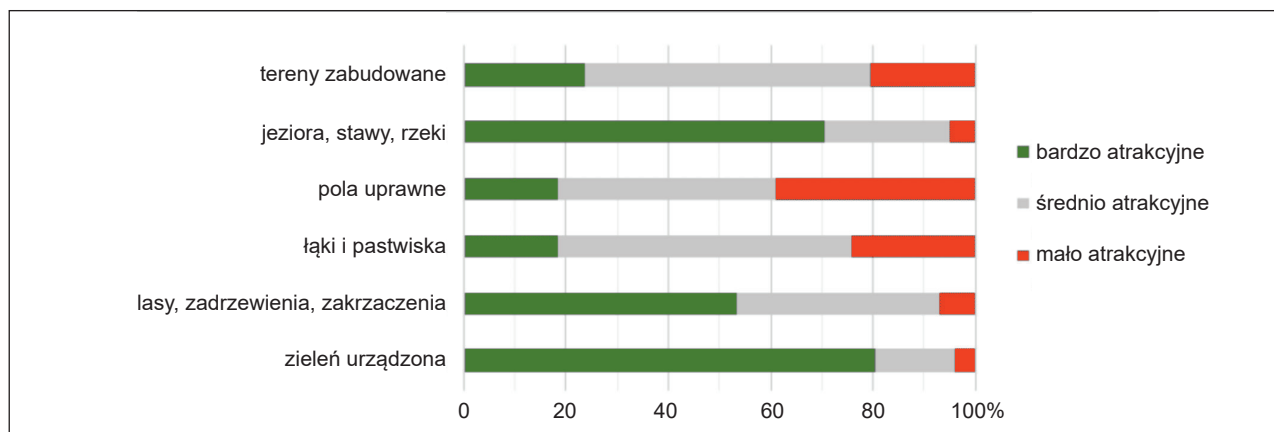
Ryc. 6. Wynik ankiety: Czy jest Pan(i) zadowolony(a) ze stanu środowiska przyrodniczego gminy Kowal? (oprac. własne)

Fig. 6. Survey result: Are you satisfied with the state of the natural environment of the Kowal commune? (own study)

Następnie przeanalizowano cechy środowiska przyrodniczego gminy Kowal istotne dla wypoczynku. Ze sporządzonego zestawienia (Ryc. 7) wynika, że szczególnie cenne ze względu na wypoczynek są warunki klimatyczne (wymienione przez 82% ankietowanych). Równie wysoko

została oceniona jakość wód (rzek, jezior i stawów) oraz ich dostępność (78%). Przeciętną rolę z punktu widzenia wypoczynku odznaczała się cisza oraz krajobraz określany przez rzeźbę terenu. Najmniejsze znaczenie w opinii uczestników badania odgrywa zróżnicowanie fauny i szaty roślinnej, które aż przez 12% respondentów zostało okre-

ślone jako mało atrakcyjne. Niska ocena atrakcyjności świata roślin i zwierząt może być zaskakująca, ponieważ analizowany teren charakteryzuje się różnorodnością biocenotyczną dzięki funkcjonowaniu Gostynińsko-Włocławskiego Parku Krajobrazowego.



Ryc. 7. Wynik ankiety: Które z cech środowiska przyrodniczego gminy Kowal są dla Pana(i) szczególnie cenne z punktu wypoczynku? (oprac. własne)

Fig. 7. Survey result: Which of the features of the natural environment of the Kowal commune are particularly valuable for you from a rest point? (own study)

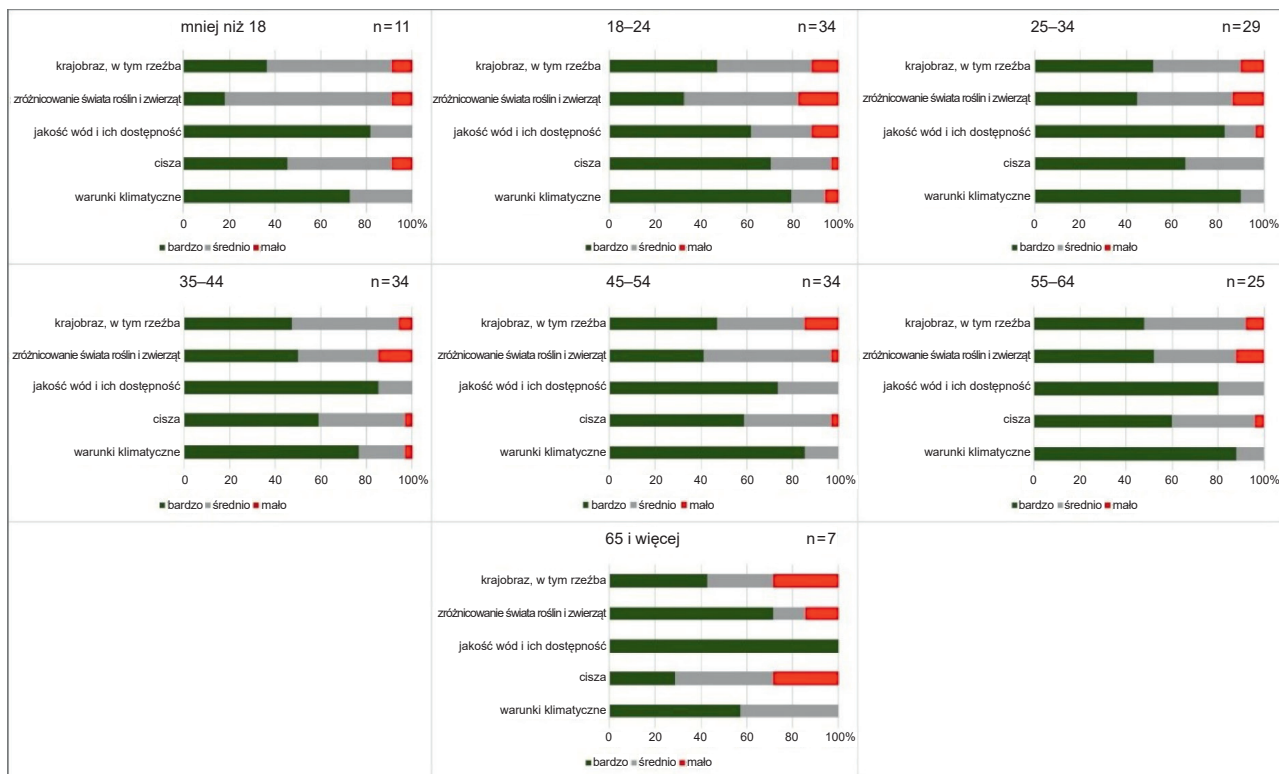
Znaczenie konkretnych elementów środowiska dla wypoczynku zmienia się w zależności od wieku ankietowanych (Ryc. 8). Wśród młodzieży do 18. roku życia największą wartość ma jakość wód i ich dostępność (82%), natomiast na drugim miejscu uplasowały się warunki klimatyczne (73%). Podobne preferencje wykazują seniorzy powyżej 65 lat, którzy przede wszystkim cenią sobie jakość wód oraz ich dostępność (100%), jednak w drugiej kolejności większe znaczenie dla nich ma zróżnicowanie świata roślin i zwierząt (72%). W przypadku pozostałych grup wiekowych naprzemiennie największą wartością warunków wypoczynkowych odznaczają się kolejno: warunki klimatyczne oraz jakość wód i ich dostępność. Najmniejsze znaczenie we wszystkich grupach wiekowych ma zróżnicowanie fauny i szaty roślinnej, jedynie wśród ankietowanych z przedziału wiekowego 65 lat i więcej za najmniej atrakcyjne dla warunków wypoczynkowych wskazano ciszę (29%).

Pod względem walorów estetycznych różnych rodzajów krajobrazu gminy Kowal, największym uznaniem wśród respondentów cieszyły się doliny rzek i jeziora (73%) oraz tereny leśne (72%). Spośród dodatkowo wyróżnionych wariantów obejmujących obszary leśne ankietowani woleli wnętrza lasów łatwo dostępne (51%) niż te, do których dostęp jest utrudniony czy ograniczony (39%). W dalszej kolejności dużą wartość estetyczną oferują tereny zwartej zabudowy (49%), które odznaczają się dużo wyższymi walorami niż tereny zabudowy rozproszonej (16%). Spośród kategorii charakteryzujących rzeźbę terenu, największą wartością widokową odznaczają się tereny pagórkowate (33%). Za bardzo atrakcyjne uważane są tereny stokowe (25%), lecz opinia o ich atrakcyjności jest zróżnicowana, gdyż aż 32% ankietowanych uznało ten

rodzaj rzeźby za posiadający najmniejszy potencjał walorów widokowych spośród kategorii dotyczących ukształtowania terenu. Tereny faliście i rozległe tereny płaskie większość ankietowanych określiła jako średnio atrakcyjne (odpowiednio 63% i 60%). W przypadku walorów estetycznych terenów jednorodnych pod względem pokrycia, 56% respondentów uważa te obszary za średnio urodziwe i zajmujące. Natomiast tereny mozaikowate dla 32% badanych stanowiły krajobraz bardzo atrakcyjny. Najbardziej negatywnie oceniono walory estetyczne pól uprawnych i obszarów bagiennych (Ryc. 9).

Za najbardziej atrakcyjny rodzaj otoczenia (pokrycia terenu) sprzyjający wypoczynkowi uznano zieleń urządzoną (80%), która obejmuje skwery, zieleńce, a w szczególności parki. W samym mieście Kowal znajdują się trzy takie obiekty. W następnej kolejności korzystnym rodzajem pokrycia terenu są obiekty hydrologiczne (71%), które są atrakcyjniejszym rodzajem otoczenia dla wypoczynku w porównaniu do obszarów leśnych oraz terenów, na których występują zadrzewienia i zakrzaczenia (53%). Najmniejszymi walorami sprzyjającymi wypoczynkowi charakteryzują się pola uprawne – 39% respondentów uważa te obszary za mało atrakcyjne do wypoczynku (Ryc. 10).

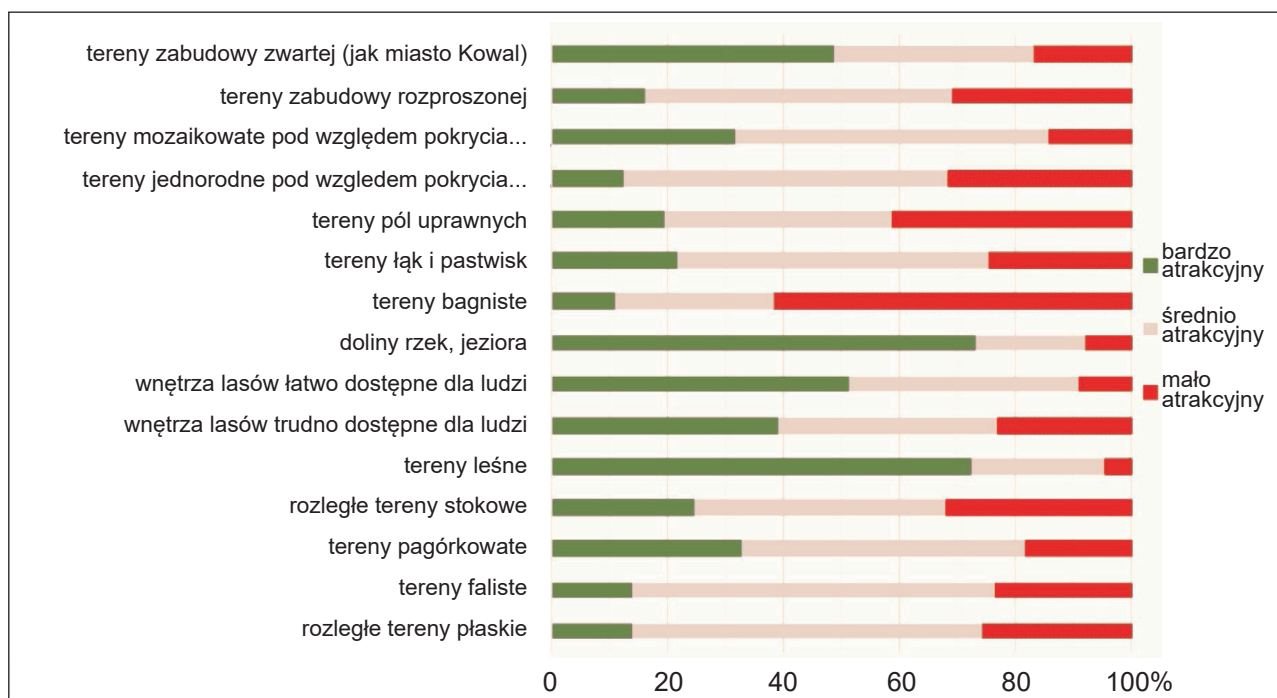
Rozpatrując różne kategorie otoczenia sprzyjające wypoczynkowi pod względem podziału ankietowanych według wieku, atrakcyjność wyróżnionych typów pokrycia terenu dla wypoczynku w gminie Kowal kształtuje się podobnie jak w zbiorze wszystkich respondentów, pomijając odpowiedzi z grupy powyżej 65 lat (Ryc. 11). Spośród młodzieży niepełnoletniej aż 90% uważało otoczenie „wody” oraz zieleni urządzonej za bardzo sprzyjające wypoczynkowi. Dorośli od 18 do 64. roku życia znajdujący się w pozostałych wyróżnionych grupach wiekowych również



n – liczba ankietowanych w poszczególnych grupach wiekowych

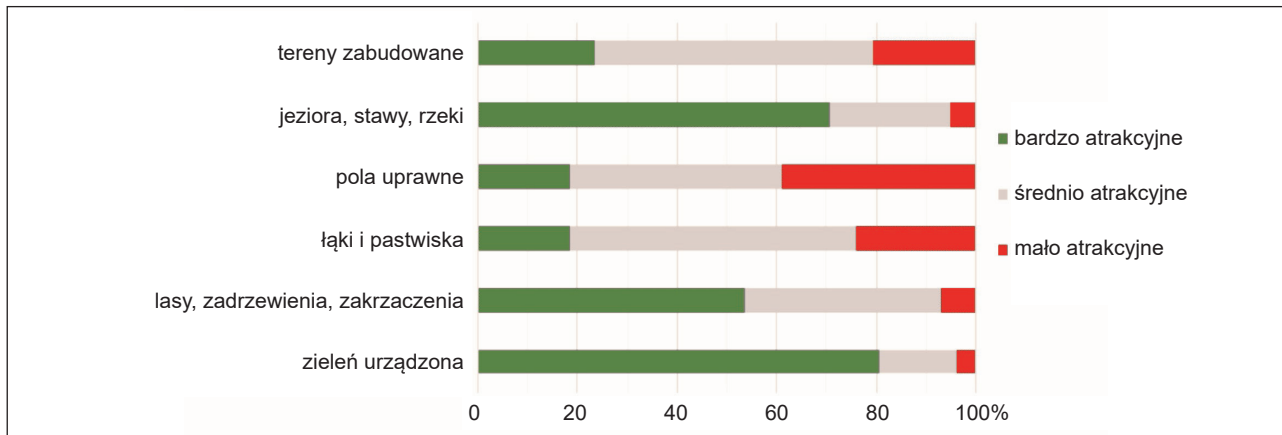
Ryc. 8. Ocena elementów środowiska gminy Kowal cennych z punktu walorów wypoczynkowych w zależności od wieku respondentów (oprac. własne)

Fig. 8. Assessment of elements of the Kowal commune environment valuable from the recreational point of view depending on the age of the respondents (own study)



Ryc. 9. Ocena atrakcyjności rodzajów krajobrazów gminy Kowal pod względem estetycznym (oprac. własne)

Fig. 9. Aesthetic assessment of the types of landscapes of the Kowal commune in terms of aesthetics (own study)

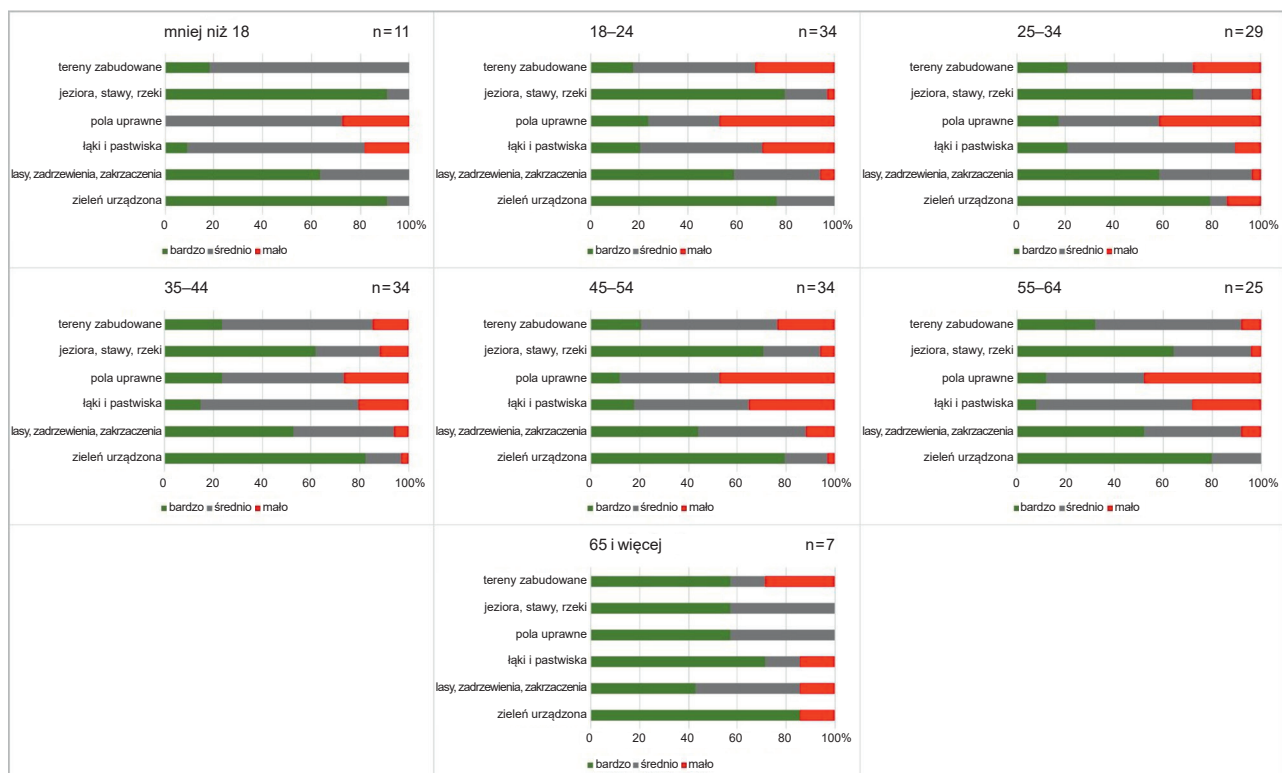


Ryc. 10. Ocena atrakcyjności rodzajów otoczenia na terenie gminy Kowal dla wypoczynku respondentów (oprac. własne)

Fig. 10. Assessment of the attractiveness of types of surroundings in the Kowal commune for the leisure of respondents (own study)

postrzegali zieleń urządzone czy jeziora, stawy i rzeki za najbardziej atrakcyjne, natomiast za najmniej sprzyjające wypoczynkowi wskazali przede wszystkim pola uprawne. Inaczej kształtuje się rozkład odpowiedzi w przypadku respondentów powyżej 65. roku życia. Za najbardziej atrakcyjne otoczenie podobnie do pozostałych wybrali

oni zieleń urządzone, natomiast na drugim miejscu pod względem walorów wypoczynkowych wskazali łąki i pastwiska. Tym samym za pokrycie terenu najmniej istotne dla wypoczynku (inaczej niż w przypadku pozostałych grup wiekowych) uznali tereny zabudowane.



n – liczba ankietowanych w poszczególnych grupach wiekowych

Ryc. 11. Ocena atrakcyjności rodzajów otoczenia na terenie gminy Kowal dla wypoczynku w zależności od wieku respondentów (oprac. własne)

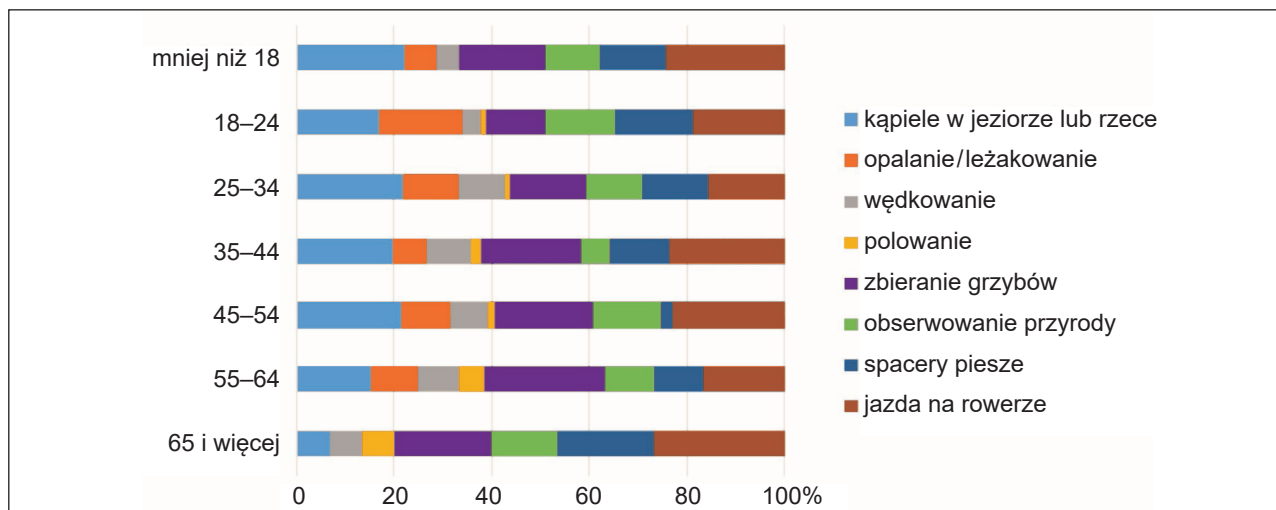
Fig. 11. Assessment of the attractiveness of types of surroundings in the Kowal commune for recreation depending on the age of the respondents (own study)

W analizowanych grupach wiekowych preferowane formy spędzania czasu są zróżnicowane (Ryc. 12). Na otrzymane wyniki miało również wpływ sformułowanie postawionego pytania, gdzie ankietowani mogli wybrać

kilka najczęstszych form aktywności. Uzyskane w tym przypadku dane bardziej oddają charakter idei kulturowych świadczeń ekosystemowych, gdzie bardzo wiele zależy przede wszystkim od jednostki (upodobań danego

człowieka) w postrzeganiu wartości danego świadczenia. Aktywny wypoczynek odnoszący się do jazdy na rowerze oraz kąpeli w jeziorach czy rzekach stanowi ogólnie najatrakcyjniejszą formę wypoczynku. Dodatkowo odnośnie preferencji według podziału wiekowego blisko 20% ankietowanych z grupy od 18 do 24. roku życia za najlepszą for-

mę wypoczynku uznaje również opalanie i leżakowanie. Spośród osób dorosłych powyżej 24. roku życia za najlepszą formę spędzania czasu wolnego ankietowani wysoko cenią sobie zbieranie grzybów. Osoby starsze powyżej 65. roku preferują poza jazdą na rowerze – spacerować pieszo oraz zbierać grzyby.



Ryc. 12. Preferencje w zakresie korzystania z form wypoczynku na terenie gminy Kowal w zależności od wieku (oprac. własne)

Fig. 12. Preferences regarding the use of leisure activities in the Kowal commune depending on age (own study)

6. Dyskusja i wnioski

Realizując wymienione na wstępie cele badawcze zapoznano się z opinią ankietowanych, którzy wybierali wartości i walory środowiska gminy Kowal oraz formy spędzania czasu wolnego, po czym dokonano ich analizy i syntezy. Pozwoliło to zaprezentować wartość metody ankietowej w badaniach fizycznogeograficznych na przykładzie rozpoznania kulturowych świadczeń ekosystemowych w skali lokalnej na przykładzie gminy Kowal.

Dokonując zestawienia elementów środowiska cennych dla wypoczynku z formami rekreacji, z których najczęściej korzystają ankietowani na terenie gminy Kowal, dostrzec można zgodność preferencji respondentów względem rodzajów krajobrazu oraz elementów, cech i stanu środowiska dla rekreacji. Najwartościowsze dla wypoczynku, zdaniem ogółu badanych, są warunki klimatyczne oraz jakość wód i ich dostępność. Cechy te sprzyjają aktywnym formom wypoczynku oraz dokładnie odpowiadają najliczniej wybranym formom spędzania czasu wolnego, czyli jeździe na rowerze oraz kąpielach w jeziorze lub rzece.

Wysoko oceniana rekreacyjna jazda na rowerze stanowi formę wypoczynku, dzięki której zainteresowany otoczeniem użytkownik może dostrzec atuty środowiska charakteryzowanej gminy. Równie wysoko oceniana cisza przez osoby pełnoletnie (z wyłączeniem osób 65+), służyć może w przypadku wyróżnionych grup wiekowych różnym formom rekreacji, tj. m.in. opalaniu, spacerem, wędkowaniu czy obserwacji przyrody. Dla grupy osób starszych powyżej 65 lat cisza jest najmniej ważną cechą środowi-

ska służącą wypoczynkowi. Bardziej atrakcyjną kategorią dla tego przedziału wiekowego jest zróżnicowanie świata roślin i zwierząt, czego skutkiem lub wynikiem może być upodobanie do spacerów, które są istotne dla tej części badanej populacji.

Za najlepszy rodzaj otoczenia dla własnego wypoczynku ankietowani wybrali w pierwszej kolejności zieleni urządzoną, a w drugiej – jeziora, stawy i rzeki. Wybór ten wiąże się z oferowanymi walorami estetycznymi różnych rodzajów krajobrazu gminy Kowal. Względem tych ostatnich największym uznaniem odnośnie walorów widokowych wśród respondentów cieszyły się doliny rzek i jeziora. Pod względem założeń urbanistycznych również wysoką oceną odznaczają się tereny o zwartej zabudowie (autor dla zobrazowania posłużył się tu przykładem miasta Kowal), co potwierdza preferencję względem wyboru kategorii obejmującej zieleni urządzoną w odniesieniu do rodzajów otoczenia dla wypoczynku. W opinii publicznej, miasto Kowal wypada pozytywnie w kwestii estetyki oraz zielonej architektury. „Zieleni miejska Kowala prezentowana była jako pozytywny przykład w telewizji TVN w programie – Maja w ogrodzie. Dodatkowo z racji dbałości o zieleni w przestrzeni publicznej w 2010 roku Kowal zajął 1. miejsce we wszystkich trzech kategoriach konkursu zorganizowanego przez Starostwo Powiatowe we Włocławku” (www.kowal.eu). Natomiast kategoria obejmująca tereny zabudowane, które były rozpatrywane pod względem wypoczynku, wypadły w opinii ankietowanych jako mało atrakcyjne otoczenie. Podkreślać to może istotność urządzenia zieleni miejskiej jako ważnej oraz przewodniej cechy podczas rozpatrywania kryteriów służących relak-

sowi i odprężeniu dla wypoczynku. Najmniejszymi walorami sprzyjającymi wypoczynkowi charakteryzują się pola uprawne. Ponad 1/3 respondentów uważała te obszary za mało atrakcyjne w ramach wypoczynku. Analogicznie krajobraz pól uprawnych wypadł słabo pod względem walorów estetycznych. Najuboższe atuty widokowe na badanym obszarze dla ankietowanych oferują tereny bagien. Na obszarze gminy Kowal tereny bagienne stanowią miejsce występowania rzadkich i cennych gatunków roślin i zwierząt, w tym ptaków, przez co teoretycznie powinny one stanowić w opinii autora atrakcyjne tereny w kwestii piękna krajobrazu. Nie tylko dla specjalistów, ale dla pasjonatów oraz pozostałych odbiorców. Tereny bagienne pełnią istotne funkcje zachowania bioróżnorodności, oczyszczania, obiegu i magazynowania wód czy krążenia pierwiastków. Tymczasem niska ocena sugeruje, że ankietowani utożsamiają je z pejoratywnymi, nacechowanymi negatywnie określeniami równoznacznymi z błotami, topieliskami czy grzęzawiskami. Zdaniem autora w ocenie respondentów kategoria ta uwydatnia wady terenu wynikające z podmokłego charakteru tych obszarów, co wiąże się z utratą rolniczych czy gospodarczych cech tychże terenów. Ponadto na wpływ oceny tej kategorii złożyły się takie cechy, jak: trudności w poruszaniu się po nich, złe warunki sanitarne, możliwe choroby oraz komary.

Porównując uzyskane wyniki w zakresie preferencji mieszkańców dotyczących atrakcyjności cech środowiska dla wypoczynku oraz upodobanych form wypoczynku gminy Kowal oraz pracy (Lupa 2016), na której wzorował się autor obejmującej charakterystykę w gminie Krajenka, dostrzec można liczne podobieństwa i zależność uzyskanych odpowiedzi. Analiza wyników otrzymanych w obu pracach wykazała, że większość respondentów za najważniejsze cechy środowiska oceniane pod kątem użyteczności terenu dla wypoczynku uważa te same kategorie, tj. warunki klimatyczne oraz czystość wód i ich dostępność. Bardzo istotna dla mieszkańców obu gmin okazała się również cisza, występująca na drugim miejscu pod względem istotności tej cechy dla mieszkańców w gminie Krajenka, a na trzecim miejscu w gminie Kowal. Podobnie dla obu grup ankietowanych stosunkowo najmniej atrakcyjnie prezentuje się zróżnicowanie świata roślin i zwierząt, czy także walory krajobrazowe określane przez lokalną rzeźbę terenu.

Różnice w rozkładzie preferencji występują dopiero podczas analizy kombinacji zmiennych w zależności od wieku. Rozkład preferencji respondentów dotyczący form wypoczynku na terenach otwartych w przypadku obu gmin wygląda prawie identycznie. Największą popularnością wśród badanych z gminy Kowal i z gminy Krajenka cieszą się jazda na rowerze oraz zbieranie owoców runa leśnego. Jedyną różnicą jest zmiana dotycząca atrakcyjności kategorii obejmującej obserwację przyrody, która w gminie Kowal cieszy się nieco wyższym zainteresowaniem niż w gminie Krajenka. Na porównywanym obszarze gminy Krajenka bardziej cenione jest za to opalanie/leżakowanie. Ponadto „przeciętny” mieszkaniec wykazuje podobne relacje ze środowiskiem. Ewentualnych przyczyn należy

się tu doszukiwać w ogólnie pojmowanej „historii życia” mieszkańców, ich zachowaniach kształtowanych przez pokolenia, stanie zdrowia, strukturze demograficznej itp.

6.1. Ocena wykorzystania metody ankietowej w badaniach kulturowych świadczeń ekosystemowych

Zasadniczym przedsięwzięciem w postrzeganiu walorów estetyczno-wypoczynkowych danego obszaru było przeprowadzenie ankietowych badań pilotażowych. Kwestionariusz ankiety pozwolił:

- ustalić preferencje społeczne w zakresie wypoczynku na otwartych terenach;
- ukazać walory estetyczne krajobrazu lokalnego.

Podczas analizy wyników uzyskanych z kwestionariuszy, dokonano oceny preferencji respondentów. Wykorzystanie metody ankietowej pozwoliło na zgromadzenie danych służących kwantyfikacji oraz charakterystyce kulturowych świadczeń ekosystemowych na badanym otwartym terenie. Pytania, które zostały przedstawione respondentom w kwestionariuszu odpowiadają wybranym grupom kulturowych świadczeń ekosystemowych określonych w najnowszej klasyfikacji CICES v. 5.1 (Haines-Young, Potschin 2018) (Tab. 1). Kwantyfikacja wielu cech obejmujących określenie i przypisanie danych kategorii z kwestionariusza sprawiła autorowi problemy wynikające ze zbyt ogólnych pojęć odnoszących się do konkretnych grup, a zwłaszcza klas kulturowych świadczeń ekosystemowych według klasyfikacji CICES v. 5.1 (Haines-Young, Potschin 2018). Według autora na otrzymane wyniki wpływa zależność wynikająca z kwestii jakości pytania, użytej terminologii, zwrotów i nazwania poszczególnych elementów. Przykładowo, jeśli zamiast „szaty roślinnej” użyte zostałyby sformułowanie „las”, wyniki mogłyby znacznie różnić się od uzyskanych, w związku z czym do podobnej charakterystyki powinno skorzystać się z opracowanych już pytań lub położyć nacisk na dopracowanie ich jakości w ramach zastosowania metody ankietowej, aby pytania były powszechnie rozumiane w kwantyfikacji kulturowych świadczeń ekosystemowych. Kwantyfikacja kulturowych świadczeń ekosystemów zależy również od wykorzystania danego podziału świadczeń. W pracy Lupy (2016) autor zastosował podział świadczeń kulturowych z klasyfikacji CICES v. 4.3, natomiast w niniejszym opracowaniu wykorzystana została najnowsza wersja klasyfikacji CICES v. 5.1, która została znacznie rozwinięta w stosunku do poprzedniej wersji.

Ponadto próba oceny oraz przyporządkowanie konkretnych cech środowiska, walorów estetycznych oferowanych przez otoczenie, czy preferowanych form wypoczynku jest oceną subiektywną. Subiektywność prowadzonych w ten sposób badań wynika z uwarunkowań kulturowych danych społeczności oraz badaczy zbierających dane przy użyciu podobnych metod. Multisenso-ryczny odbiór charakteryzuje człowieka, który podobnie reaguje w podobnych sytuacjach, czy w reakcji na te same bodźce – ale nie zawsze na zadane identyczne pytanie dziś, czy jutro udzieli takiej samej odpowiedzi. Problem

z powtarzalnością tego typu badań stanowi wyzwanie w wielu subdyscyplinach nauki, pytania o opinię są jednymi z najtrudniejszych w uzyskaniu powtarzalności wyników, natomiast w celu otrzymania wiarygodnych danych w przypadku badań anonimowych kładziony jest nacisk na wielkość próby, która warunkuje pewien trend w udzielaniu odpowiedzi (Lutyński 1968, www.tkk.pl). Co więcej, jeśli dobór respondentów jest probabilistyczny, to wyniki badań nie powinny być kwestionowane (Babbie 2004). Technika ankiety jest możliwie najszybszym narzędziem, które pozwala przeprowadzać obszerne badanie ilościowe licznych zbiorowości. Ponadto wykorzystanie metody ankietowej sprawdza się w przypadku kwantyfikacji kulturowych świadczeń ekosystemowych z tego względu, iż najobiektywniej oddaje znaczenie miękkiego charakteru cech jakościowych środowiska i krajobrazu. Zastosowanie środków bezpośrednich w pozyskaniu danych odbieranych w sposób multisensoryczny pozwala na uzyskanie wyników, które spełniają warunki intersubiektywnej komunikowalności (Boruszewski 2017). Natomiast nastrocza problemów wynikających z ich niepowtarzalności pomimo zastosowania tradycyjnych metod statystyczno-matematycznych, które opierają się na „twardych” danych.

Podziękowania

Autor artykułu składa podziękowania dr Annie Majchrowskiej za wszelką pomoc i cenne rady podczas pisania artykułu, a recenzentom za wnikliwe opinie i konstruktywną krytykę.

7. Literatura

- Babbie, E., 2004. Konceptualizacja, operacjonalizacja i pomiar, [w:] Babbie, E. (red.), *Badania społeczne w praktyce*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 139–243.
- Bartczak, A., Żylicz, T., 2014. Willingness to pay for forest cleaning in Poland. Results from a contingent valuation survey. *Ekonomia i Środowisko* 4 (51), 137–145.
- Bertram, C., Rehdanz, K., 2015. Preferences for cultural urban ecosystem services: Comparing attitudes, perception and use. *Ecosystem Services* 12, 187–199.
- Boćkowski, M., Rogowski, W., 2018. Wycena usług ekosystemowych oraz ich zastosowanie w rachunku ekonomicznym – praktyczne przykłady w zarządzaniu zasobami przyrodniczymi. *Studia i Prace Kolegium Zarządzania i Finansów* 167, Warszawa, 37–64.
- Boruszewski, J., 2017. Dostępność wiedzy naukowej a jej intersubiektywna komunikowalność, [w:] Kulczycki, E. (red.), *Komunikacja naukowa w humanistyce*. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Filozofii Uniwersytetu Adama Mickiewicza, Poznań, 265–281.
- Brown, G., 2006. Mapping landscape values and development preferences: A method for tourism and residential development planning. *International Journal of Tourism Research* 8 (2), 101–113.
- Costanza, R., 2012. Ecosystem functions and services. *Ekonomia i Środowisko* 2 (42), 8–17.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R.S., Farber, S.C., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253–260.
- De Groot, R.S., Wilson, M.A., Boumans, R.M., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41 (3), 393–408.
- Haines-Young, R., Potschin, M., 2018. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. <https://cices.eu> (dostęp: 24.10.2019).
- Jobstvogt, N., Watson, V., Kenter, J.O., 2014. Looking below the surface: The cultural ecosystem service values of UK marine protected areas (MPAs). *Ecosystem Services* 10, 97–110.
- Junge, X., Schüpbach, B., Walter, T., Schmid, B., Lindemann-Matthies, P., 2015. Aesthetic quality of agricultural landscape elements in different seasonal stages in Switzerland. *Landscape and Urban Planning* 133, 67–77.
- Kondracki, J., 2001. *Geografia regionalna Polski*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kowalczyk, A., 1992. Badanie spostrzegania krajobrazu multisensorycznego – podstawą kształtowania obrazów rekreacyjnych. Wydawnictwo Uczelniane WSP w Bydgoszczy, 5–11.
- Kulczyk, S., 2016. Między kulturą a naturą. Zastosowanie koncepcji usług ekosystemowych w badaniach nad turystyką kulturową – przykład szlaku Wielkich Jezior Mazurskich. *Turystyka Kulturowa* 1/2016, 64–78.
- Kulczyk, S., Woźniak, E., Kowalczyk, M., Derek, M., 2014. Zakres i skala w inwentaryzacji usług ekosystemowych dla turystyki i rekreacji na przykładzie żeglarstwa. *PEK* 38, 135–147.
- Lupa, P., 2016. Kwantyfikacja wybranych świadczeń ekosystemów na poziomie lokalnym. Przykład gminy Krajenka. Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, 1–232.
- Lutyński, J., 1968. Ankieta i jej rodzaje na tle podziału technik otrzymywania materiałów, [w:] Gostkowski, Z., Lutyński, J., *Analizy i próby technik badawczych w socjologii* 2. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław, 10–56.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment) 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends 1. Findings of the Conditions and Trends, Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment* Island Press, Washington D.C., Covelo, London.
- Mizgajski, A., Stępniewska, M., 2009. Koncepcja świadczeń ekosystemów a wdrażanie zrównoważonego rozwoju. *Ekologiczne problemy zrównoważonego rozwoju*. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomicznej w Białymstoku, 12–23.
- Mizgajski, A., Stępniewska, M., 2012. Ecosystem services assessment for Poland – challenges and possible solutions. *Ekonomia i Środowisko* 2 (42), 54–73.
- Operat Generalny Gostynińsko-Włocławskiego Parku Krajobrazowego, 2007. *Biuro Usług Ekologicznych i Leśnych „Quercus”*, Toruń, 4–7.
- Pietrzyk-Kaszyńska, A., Grodzińska-Jurczak, M., 2012. Ecosystem Services Perception. The Example of Local Governments Representatives in Małopolska Vivodship. *Ekonomia i Środowisko* 2 (42), 83–90.
- Plieninger, T., Dijks, S., Oteros-Rozas, E., Bieling, C., 2013. Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land Use Policy* 133, 118–129.
- Poskrobko, B., 2010. Usługi środowiska jako kategoria ekonomii zrównoważonego rozwoju. *Ekonomia i Środowisko* 1 (37), 20–30.
- Raymond, C.M., Bryan, B.A., Mc Donald, D.H., Cast, A., Strathearn, S., 2009. Mapping community values for natural capital and ecosystem services. *Ecological Economics* 68 (5), 1301–1315.
- Roman, M., 2010. Rekonstrukcja lobu płockiego w czasie ostatniego zlodowacenia. *Łódzkie Towarzystwo Naukowe*, 1–167.
- Solon, J., 2008. Koncepcja „Ecosystem Services” i jej zastosowania w badaniach ekologiczno-krajobrazowych. *Problemy Ekologii Krajobrazu* 21, 25–44.
- Solon, J., Borzyszkowski, J., Bidłasik, M., Richling, R., 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. *Geographica Polonica* 91 (2), 143–170.
- Solon, J., Roo-Zielińska, E., Affek, A., Kowalska, A., Kruczkowska, B., Wolski, J., Degórski, M., Grabińska, B., Kończakowska, E., Regulska, E., Zawiska, I., 2017. Świadczenia ekosystemowe w krajobrazie młodoglacjalnym. Ocena potencjału i wykorzystania. Wydawnictwo Akademickie SEDNO, Warszawa, 1–469.

- Ungaroa, F., Häfner, K., Zasada, I., Piorr, A., 2016. Mapping cultural ecosystem services: Connecting visual landscape quality to cost estimations for enhanced services provision. *Land Use Policy* 54, 399–412.
- van Berkel, D.B., Verburg, P. H., 2014. Spatial quantification and valuation of cultural ecosystem services in an agricultural landscape. *Ecological Indicators* 37, 163–174.
- van Riper, C.J., Kyle, G.T., Sutton, S.G., Barnes, M., Sherrouse, B.C., 2012. Mapping outdoor recreationists' perceived social values for ecosystem services at Hinchinbrook Island National Park, Australia. *Applied Geography* 35 (1), 164–173.

Źródła internetowe

- <http://esmeralda-project.eu> – portal informacyjny projektu ESERALDA.
http://www.kowal.eu/asp/pl_start.asp?typ=14&menu=8&strona=1
[http://www.tkk.pl/~listillo/meto/\(2905\)%20opis_metod_i_techinik.doc](http://www.tkk.pl/~listillo/meto/(2905)%20opis_metod_i_techinik.doc)



Kinga Jędrzejczyk

Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych

E-mail: kinga.jedrzejczyk96@gmail.com

Zmiany morfologiczne koryta Pilicy między Domaniewicami a Nowym Miastem nad Pilicą na podstawie analizy kartograficznej

Morphological changes of the Pilica riverbed between Domaniewice and Nowe Miasto nad Pilicą on the basis of cartographic analysis

Zarys treści

W artykule przedstawiono w ujęciu morfologicznym zmiany dawnych, postglacialnych koryt Pilicy między Domaniewicami a Nowym Miastem nad Pilicą w oparciu o materiały kartograficzne z lat 1802–2017. Celem artykułu było również przypisanie Pilicy do określonego typu koryta na podstawie jej charakterystycznych cech morfologicznych. Wykazano, że na charakter dna doliny rzecznej, jak również samego koryta Pilicy, w znacznym stopniu wpłynęło wybudowanie Zbiornika Sulejowskiego.

Słowa kluczowe

Dno doliny rzecznej, typy koryt rzecznych, zmiany biegu koryt, paleokoryta, interpretacja zdjęć lotniczych, awulsja.

Abstract

The article presents the morphological changes of the former, post-glacial riverbeds of the Pilica River between Domaniewice and Nowe Miasto nad Pilicą on the basis of cartographic materials from 1802–2017. The aim of the article was also to assign the Pilica to a specific type of bed based on its characteristic morphological features. It has been shown that the nature of the river valley bottom, as well as the Pilica bed itself, was largely influenced by the construction of the Sulejowski Reservoir.

Keywords

Valley bottom, types of river beds, channel changes, oxbow lakes, interpretation of aerial photographs, avulsion.

1. Wprowadzenie

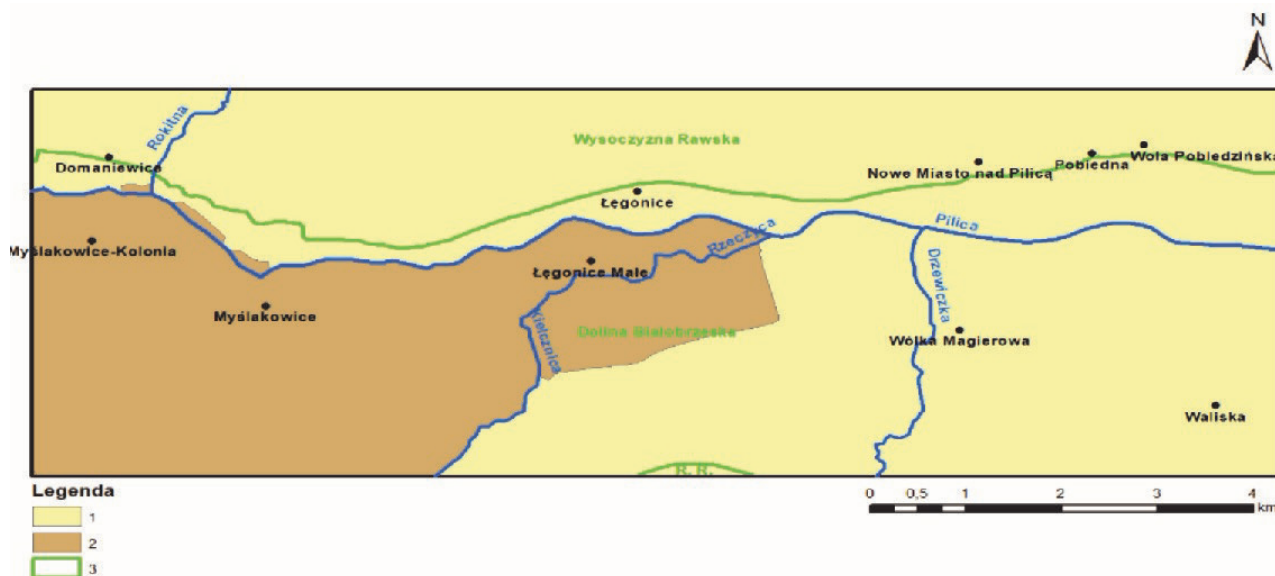
Dna dolin rzecznych, stanowiące zaledwie kilka procent powierzchni Polski, pełnią istotną rolę w środowisku przyrodniczym. Są to tereny, wzdłuż których od zarania dziejów rozwijały się jednostki osadnicze i ciągi komunikacyjne. Ponadto, dna dolin rzecznych są naturalnymi rezerwuarami wód gruntowych, a także cechują się mezo-klimatem o znacznej wilgotności i występowaniem inwersji temperatury powietrza. Co więcej, ze względu na swoją długowieczność, geosystemy te rejestrują, zachodzące na przestrzeni dziejów, różnorodne zmiany, np. dotyczące klimatu w holocenie. Na ewolucję dolin rzecznych, oprócz czynników klimatycznych, miała wpływ również ingerencja człowieka. Ta początkowa, opierająca się na rybołówstwie i łowiectwie, nie generowała istotnych zmian w systemach rzecznych (Starkel 1988). Wtedy istotnymi czynnikami zaburzającymi równowagę den dolinnych były powodzie i działalność bobrów (Stopka 2011; Kobjek 2013; Rurek 2013). Z czasem, wraz z powszechnym karczowaniem lasów, rozwojem rolnictwa i regulacją koryt, to człowiek zaczął ingerować w systemy rzeczne (Starkel 1988).

Zmienność cech morfologicznych koryt rzecznych w Polsce w oparciu o materiały kartograficzne była przedmiotem badań wielu autorów, m.in. Trafas (1977), Flo-

rek (1983), Falkowski, Ostrowski (2010), Forysiak (2010), Kałmykow-Piwińska, Falkowski (2012), Słowik (2014), Gierszewski i in. (2015), Kalicki, Fularczyk (2018), Witkowski, Szmańda (2018). Jednak problematyka ewolucji dolin rzecznych i współczesnych procesów fluwialnych na obszarze staroglacjalnym, a w szczególności w dorzeczu Pilicy (por. Klimek i Twardy 2007) nie należy do często podejmowanych w pracach naukowych. Analizy matematyczno-geomorfologiczne w oparciu o materiały kartograficzne wykorzystywane są głównie dla obszarów górskich (np. Korpak 2012), zatem niniejszy artykuł stanowi próbę zastosowania takiej analizy na obszarze Polski Środkowej.

2. Położenie obszaru badań

Obszar badań według fizycznogeograficznego podziału Polski Kondrackiego (2001) w modyfikacji Solona i in. (2018) znajduje się na terenie prowincji Niżu Środkowoeuropejskiego, w obrębie podprowincji Nizin Środkowopolskich. Obszar poddany analizie jest położony w zasięgu jednego makroregionu – Wzniesień Południowomazowieckich, a w jego obrębie trzech mezoregionów – Wysoczyzny Rawskiej, Doliny Białobrzesckiej i Równiny Radomskiej (Ryc. 1). Zgodnie z podziałem administracyjnym Polski opisywany teren należy do województwa mazowieckiego.



Ryc. 1. Położenie obszaru badań na tle mezoregionów według Solona i in. (2018) oraz podziału administracyjnego Polski na podstawie www.geoportal.gov.pl. 1 – powiat grójcecki, 2 – powiat przysuski, 3 – granice mezoregionów, R.R. – Równina Radomska

Fig. 1. Location of the research area against the background of mesoregions according to Solon *et al.* (2018) and the administrative division of Poland based on www.geoportal.gov.pl. 1 – Grójec county, 2 – Przysucha county, 3 – the boundaries of mesoregions, R.R. – The Radom Plain

Według podziału Polski na jednostki tektoniczne, analizowany obszar jest położony w granicach paleozoicznej platformy zachodnioeuropejskiej, na terenie antyklinoorium środkowopolskiego (Żelaźniewicz i in. 2011). Zgodnie z klasyfikacją Pożaryskiego i in. (1974) opisywany teren należy do cechsztyńsko-mezozoicznego przegłębienia perykratonicznego, obejmującego plakantylinoorium środkowopolskie, a dokładniej odcinek rawsko-gielniowski antyklinoorium kujawskiego.

Pilica, mająca swoje źródła w miejscowości o tej samej nazwie, uznawana jest za najdłuższy lewy dopływ Wisły. W ogólnej strukturze krajobrazu całej doliny Pilicy (od źródła do ujścia do Wisły) dominują łąki i pola (66%), lasy stanowią 24%, miejscowości 10%, a rezerваты przyrody 2%. Świadczy to o znacznym nieuregulowaniu cieku (82% długości rzeki), szczególnie w jego środkowym i dolnym biegu. Pilica w przeciwieństwie do innych rzek dorzecza Wisły, charakteryzuje się małą liczbą długich dopływów. Wyróżnia się ona licznymi ciekami, których długość nie przekracza 20–30 km. Średni spadek Pilicy wynosi 75 cm/km, a maksymalna prędkość nurtu przy normalnym stanie wody jest równa 0,8 m/s (Jagięto 2013). Obszar badań znajduje się w dorzeczu Wisły, w obrębie zlewni Pilicy będącej ciekami II rzędu. Rzeka ta przepływa równoleżnikowo z zachodu na wschód, na odcinku ok. 15 km w centralnej części analizowanego terenu. Opisywany fragment Pilicy występuje między 250 a 265 km całej rzeki (Jagięto 2013).

3. Metody badawcze

Artykuł jest rozwinięciem pracy magisterskiej autorki (Jędrzejczyk 2020). Jego celem jest przedstawienie zmienności koryta Pilicy między Domaniewicami a Nowym Miastem nad Pilicą w ujęciu geomorfologicznym. Wykorzystano następujące metody badawcze:

- kwerenda historycznych materiałów kartograficznych;
- kartowanie elementów koryta rzeczno i innych części dna doliny;
- wykorzystanie danych LiDAR (Licencja nr CG-I.7522.10.2019.PB_14_N) i NMT (Numeryczny Model Terenu) o rozdzielczości co najmniej 100 m do analizy rzeźby dna doliny;
- obliczenie wskaźników morfometrycznych koryta rzeczno na podstawie zdjęć lotniczych i map topograficznych wykonanych w różnych odstępach czasowych.

Można wyróżnić wiele parametrów morfometrycznych koryta rzeczno. Wśród tych najbardziej typowych, opisywanych w syntetycznych pracach Krzemienia (2012) oraz Bajkiewicz-Grabowskiej i Mikulskiego (1996), znajdują się: długość koryta (Lch), czyli długość rzeki wzdłuż linii nurtu, długość cięciwy koryta (Ls), rozumianą jako odległość w linii prostej między punktem początkowym i końcowym danego odcinka, wskaźnik rozwinięcia koryta (U), otrzymany w wyniku podzielenia przez siebie wartości dwóch powyższych parametrów, wskaźnik krętości koryta (Wk), określaną jako długość rzeki do długości jej doliny, szerokość równiny zalewowej (wp), szerokość strefy rozwinięcia koryta (ws), zwaną również strefą meandrowania, którą otrzymujemy mierząc odległość między wierzchołkami prawo- i lewobrzeżnych zakoli rzeki. Analizie morfometrycznej koryta rzeczno mogą też być podane parametry meandrów, takie jak: długość zakola (S) odpowiadająca długości cieku wzdłuż osi koryta pomiędzy punktami przegięcia, szerokość szyi meandra (b) będąca odcinkiem między sąsiednimi punktami dwóch ramion zakola, długość fali meandra (L), czyli dystans mierzony w linii prostej między miejscami przegięcia całego meandra, rozpiętość meandra (A) odpowiadająca odległości między kulminacyjnymi punktami przeciwległych zakoli danego meandra. Ważnym wskaźnikiem świadczącym

o dynamice przemieszczania się rumowiska rzecznego jest wskaźnik zdżiczenia koryta (r_a). Uzyskujemy go w procentach, dzieląc liczbę form aluwialnych (wyspy, łachy) przez długość koryta rzecznego. W przypadku rzek, których koryta są bogate w odsypy centralne, można również obliczyć ich procentowy udział w stosunku do całej powierzchni koryta (P_o), a także maksymalną (P_{maks}) i minimalną powierzchnię tych odsypów (P_{min}).

- sporządzenie szkicu geomorfologicznego dna doliny Pilicy w programie ArcGIS 10.4.1, na podstawie mapy topograficznej (1982) i ortofotomapy RGB i CIR (2015–2017) uzyskanej dzięki uprzejmości Wojewódzkiego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie (nr licencji CGI.7522.10.2019.PB_14_N);
- odtworzenie zmian przebiegu koryta Pilicy metodą retrospektywną ze szczególnym uwzględnieniem paleokoryt.

Analizę zmian biegu Pilicy dokonano od stanu teraźniejszego, cofając się sukcesywnie do coraz starszych okresów, z których pochodzą zdobyte źródła kartograficzne. W tym celu wykorzystano:

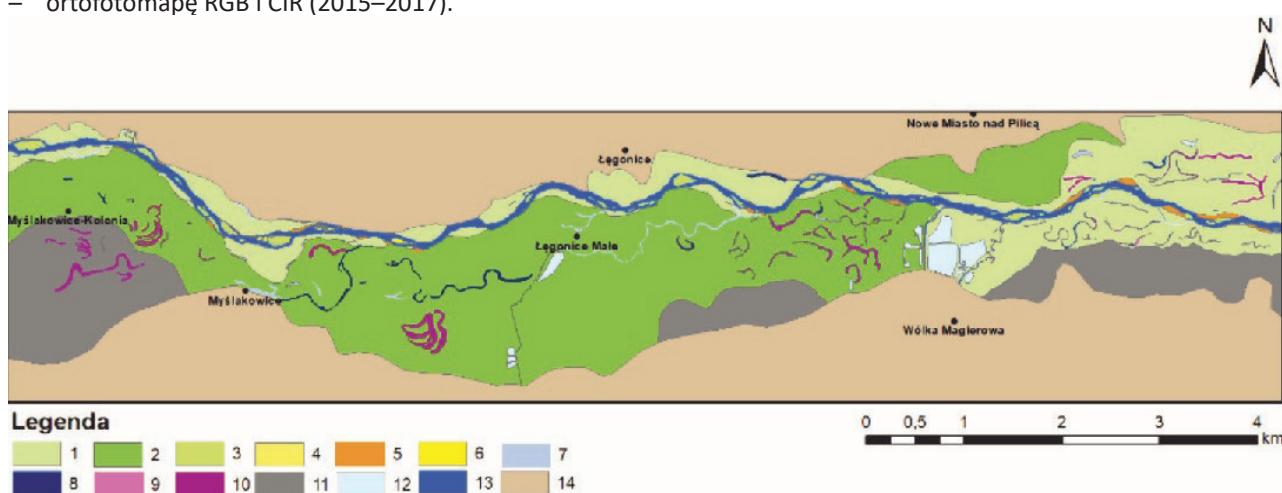
- mapę topograficzną Prus Południowych w skali 1:50 000, sporządzoną przez D. Gilly'ego w latach 1802–1803, arkusz D III;
- Topograficzną Kartę Królestwa Polskiego w skali 1:126 000, sporządzoną przez Kwatermistrzostwo Generalne Wojska Polskiego w latach 1822–1831, ukończoną przez rosyjski Korpus Topografów Wojskowych w latach 1832–1843;
- mapę topograficzną w skali 1:100 000 wykonaną w 1937 roku przez Wojskowy Instytut Geograficzny, arkusz Nowe Miasto nad Pilicą (PAS 42 Słup 31);
- mapę topograficzną w skali 1:10 000 sporządzoną w 1982 roku (M-34-17-B-b-4; M-34-18-A-a-3; M-34-18-A-a-4);
- ortofotomapę RGB i CIR (2015–2017).

Starszym materiałom kartograficznym nadano po zeskanowaniu georeferencje, czyli określono układ współrzędnych, wykorzystując charakterystyczne i stałe punkty odniesienia, jak np.: skrzyżowania dróg i kościoły. Procedura ta umożliwiła wpasowanie materiału historycznego we współczesną mapę, a tym samym porównanie biegu rzeki. Efektem końcowym jest mapa przedstawiająca zmiany przebiegu koryta Pilicy od lat 30. XX wieku aż po czasy współczesne. Należy pamiętać, że im starszy materiał kartograficzny, tym mniej dokładny jest zasięg ówczesnego koryta Pilicy. Spowodowane jest to przede wszystkim innymi technikami kartowania, jak również uogólnieniami wynikającymi z generalizacji map.

4. Charakterystyka ukształtowania dna doliny Pilicy

Dolina Pilicy wykazuje silną asymetrię – najlepiej rozwinięte terasy akumulacyjne (plejstoceńskie) znajdują się na prawym brzegu Pilicy, gdzie tworzą pas o szerokości 2 km, natomiast na lewym brzegu są znacznie węższe. Terasy wyższe tworzą dwa poziomy – pierwszy sięgający maksymalnie do 140 m n.p.m. i drugi do 145 m n.p.m. (Ryc. 2). Dolinki, parowy, młode rozcięcia erozyjne rozcinają głównie lewy, stromy brzeg doliny Pilicy.

Na powierzchni terasy zalewowej Pilicy występują młodsze starorzecza wypełnione wodą lub starorzecza suche i okresowe podmokłości związane z torfowiskami. Równiny torfowe występują na prawym brzegu Pilicy, a także w dolinie Drzewiczki. W obrębie dna doliny analizowanego terenu można wyróżnić dwa poziomy równiny zalewowej, między którymi różnica wysokości względnych wynosi około 2–3 m. Znajduje to swoje odzwierciedlenie w lokalizacji dwóch wsi – Łęgonic Małych i Myślakowic-Kolonii (Ryc. 2).



Ryc. 2. Szczegółowy szkic geomorfologiczny dna doliny Pilicy na podstawie ortofotomapy RGB i CIR (2015–2017), Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie. 1 – I poziom terasy zalewowej, 2 – II poziom terasy zalewowej, 3 – wyspy, 4 – łachy, 5 – odsypy boczne, 6 – odsypy śródkorytowe, 7 – młodsze starorzecza, 8 – starsze starorzecza, 9 – młodsze paleomeandry, 10 – starsze paleomeandry, 11 – torfy, 12 – sztuczne zbiorniki wodne, 13 – rzeki, 14 – obszar poza dnem doliny

Fig. 2. Detailed geomorphological sketch of the Pilica valley bottom on the basis of the RGB and CIR orthophotomaps (2015–2017), Provincial Center for Geodetic and Cartographic Documentation in Warsaw. 1 – 1st level of the flood plain, 2 – 2nd level of the flood plain, 3 – islands, 4 – sandbanks, 5 – side bars, 6 – in-channel bars, 7 – younger oxbow lakes, 8 – older oxbow lakes, 9 – younger paleomeanders, 10 – older paleomeanders, 11 – peat, 12 – artificial water reservoirs, 13 – rivers, 14 – area beyond the valley bottom

Wyspy i łachy (odsypy) rzeczne przyjmują przeważnie podłużny kształt (Fot. 1), a odsypy boczne dominują we wschodnim fragmencie analizowanego odcinka Pilicy. Dno doliny jest bogate w liczne starorzecza (Fot. 2), ale też w paleomeandry. Większość z nich znajduje się na prawym brzegu rzeki.

Na badanym obszarze występują formy denudacyjne takie, jak długie stoki wysoczyzny ograniczające dna dolin

rzecznych. Kolejną formą będącą efektem akumulacji materiału pochodzenia denudacyjnego są stożki napływowe zlokalizowane u podnóża wysoczyzny, u wylotu suchych dolin i parowów w pobliżu Nowego Miasta nad Pilicą oraz Łegonic.

Na południowych terasach Pilicy występują wydmy w kształcie wałów, którym towarzyszą równiny pokryte eolicznymi (piasków przewianych).



Fot. 1. Koryto Pilicy w Nowym Mieście nad Pilicą 51°36'N; 20°34'E, widok w kierunku wschodnim (fot. K. Jędrzejczyk, sierpień 2019)

Photo. 1. The Pilica riverbed in Nowe Miasto nad Pilicą 51°36'N; 20°34'E, view to the east (photo by K. Jędrzejczyk, August 2019)



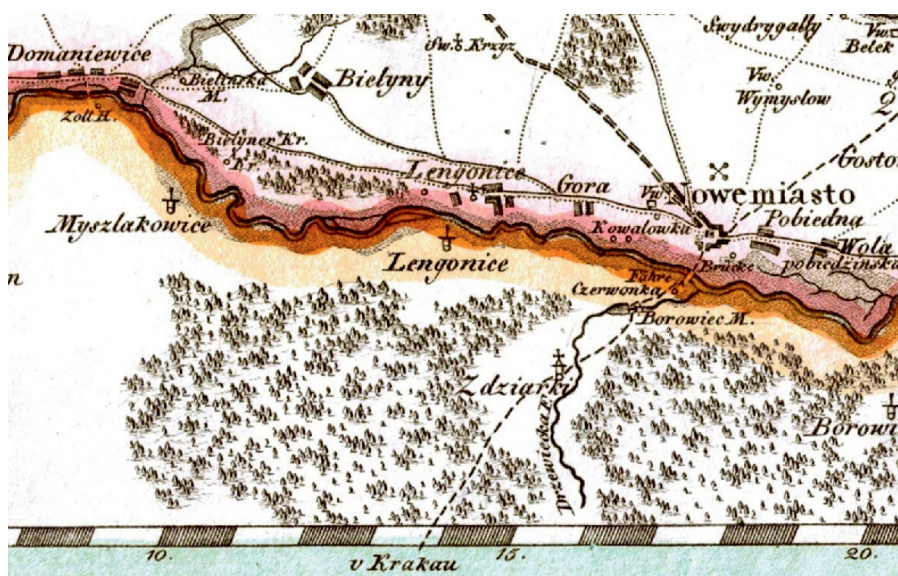
Fot. 2. Starorzecze na zachód od wjazdu do Łegonic Małych 51°36'N; 20°31'E (fot. K. Jędrzejczyk, marzec 2019)

Photo 2. Oxbow lake to the west of the entrance to Łegonice Małe 51°36'N; 20°31'E (photo by K. Jędrzejczyk, March 2019)

5. Geomorfologiczne zmiany dna doliny Pilicy (w latach 1937–2015/17)

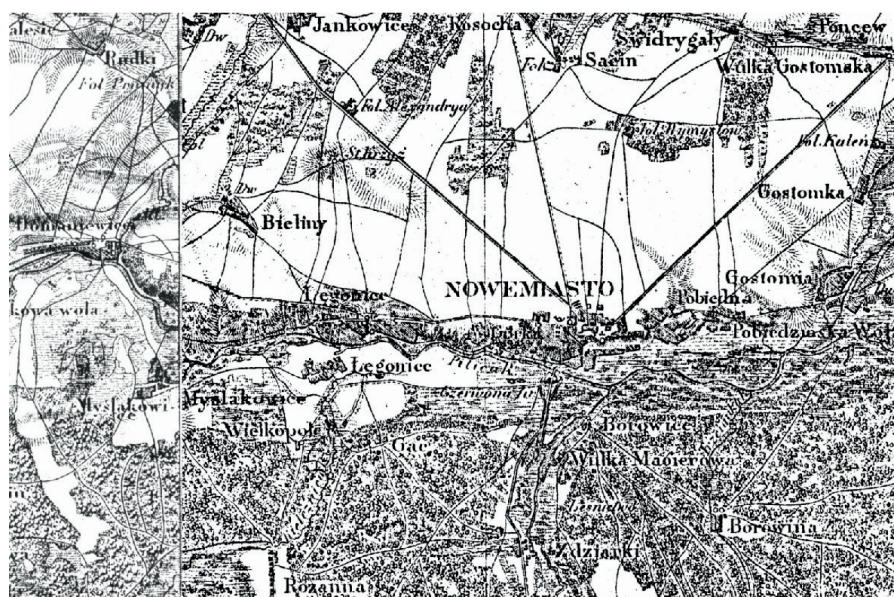
Najstarszym pozyskany źródłem kartograficznym, pozwalającym na analizę zmian dna doliny Pilicy jest mapa topograficzna Prus Południowych (1802–1803) w skali 1:50 000, autorstwa Davida Gilly'ego (Ryc. 3). Jednak z powodu znacznej generalizacji, mapa ta jest nieprzydatna do przeprowadzenia geomorfologicznej analizy dna doliny rzecznej. Pomimo większej dokładności kolejnego źródła kartograficznego, jakim jest Topograficzna Karta Królestwa Polskiego w skali 1:126 000, nazywana również

mapą Kwatermistrzostwa (Ryc. 4), nie udało się nadać mu georeferencji z zachowaniem waloru kartometryczności. To źródło kartograficzne pozwala jedynie na dokonanie ogólnej analizy geomorfologicznej doliny Pilicy. Mapa Kwatermistrzostwa potwierdza asymetrię doliny rzecznej, występowanie wąwozów i licznych rozcięć erozyjnych na lewym, stromym stoku wysoczyzny, jak również obszarów podmokłych i ogromnych połaci lasów zwanych Puszcą Pilicką na południe od Pilicy. Dziewiętnastowieczna mapa uwzględnia także Kiełcznicę łączącą się z jednym ze starorzeczy Pilicy, nazwanym później Rzeczycą.



Ryc. 3. Fragment mapy topograficznej Prus Południowych Gilly'ego (1802–1803)

Fig. 3. Fragment of Gilly's topographic map of South Prussia (1802–1803)

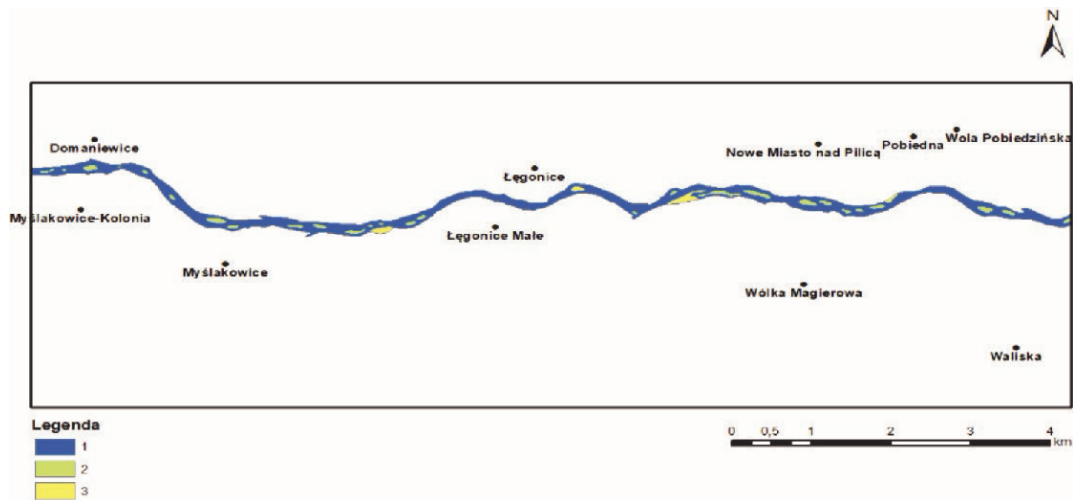


Ryc. 4. Fragment Topograficznej Karty Królestwa Polskiego (1822–1843)

Fig. 4. Fragment of the Topographic Charter of the Kingdom of Poland (1822–1843)

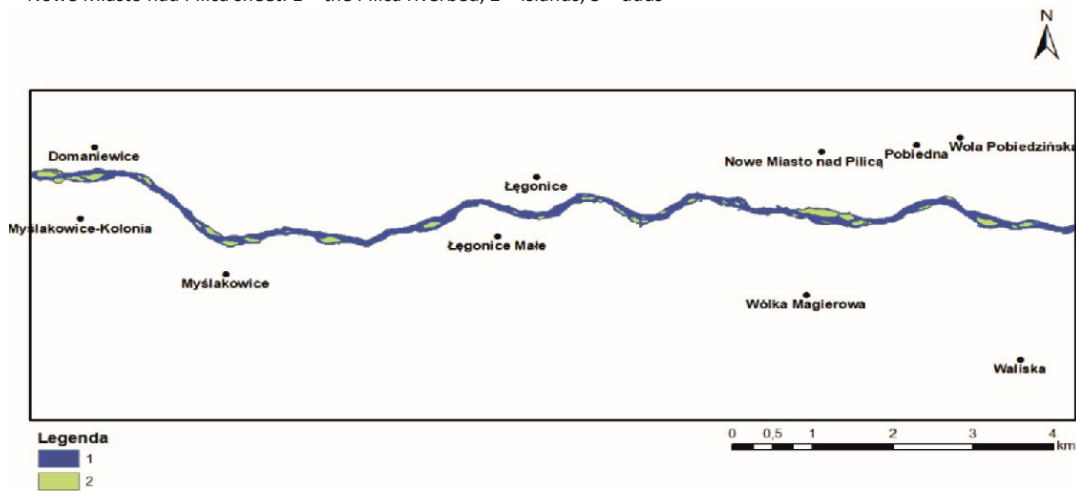
Trzy następne źródła kartograficzne: mapa topograficzna z 1937 roku wykonana przez Wojskowy Instytut Geograficzny, mapa topograficzna z 1982 roku oraz ortofotomapa RGB i CIR z lat 2015–2017, pozyskana dzięki Wojewódzkiemu Ośrodkowi Dokumentacji Geodezyjnej

i Kartograficznej w Warszawie, umożliwiły wyrysowanie kształtów ówczesnych koryt (Ryc. 5, 6, 7). Porównanie ich przebiegów (Ryc. 8) oraz odpowiadających im wartości poszczególnych wskaźników morfometrycznych pozwala dostrzec pewne zależności.



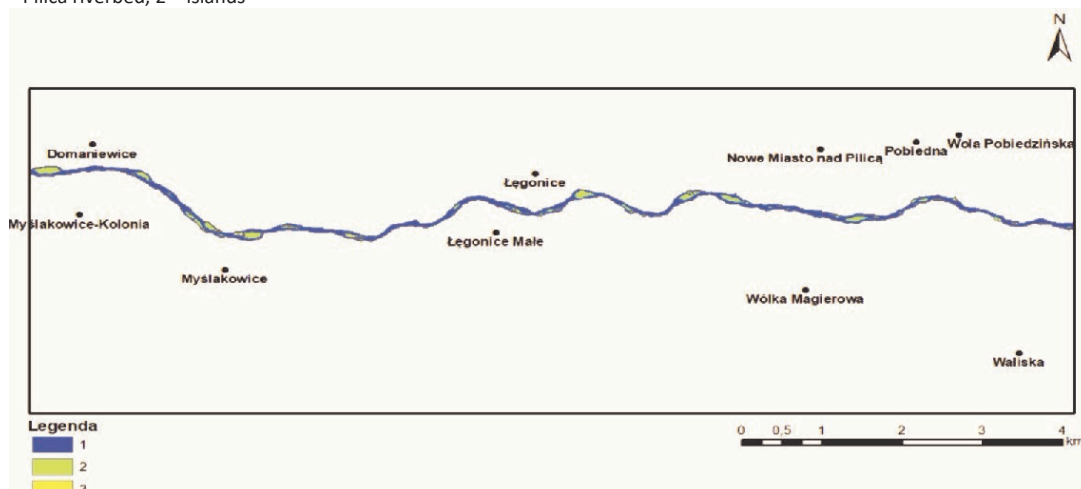
Ryc. 5. Koryto Pilicy na obszarze badań w 1937 roku na podstawie mapy topograficznej 1:100 000, Wojskowy Instytut Geograficzny, arkusz Nowe Miasto nad Pilicą. 1 – koryto Pilicy, 2 – wyspy, 3 – łachy

Fig. 5. The Pilica riverbed in the study area in 1937 based on a topographic map 1: 100,000, Military Geographical Institute, Nowe Miasto nad Pilica sheet. 1 – the Pilica riverbed, 2 – islands, 3 – duds



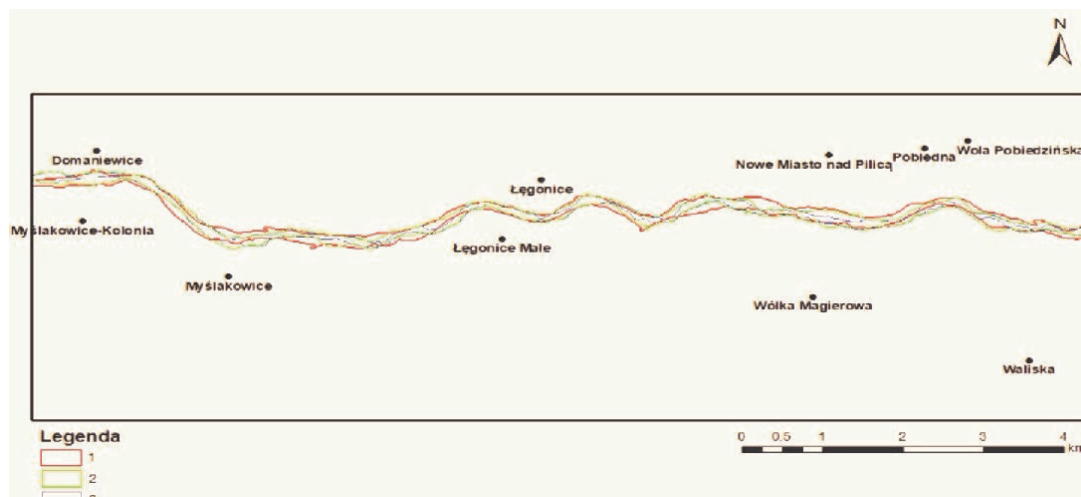
Ryc. 6. Koryto Pilicy na obszarze badań w 1982 roku na podstawie mapy topograficznej 1:10 000 (www.geoportal.gov.pl). 1 – koryto Pilicy, 2 – wyspy

Fig. 6. The Pilica river bed in the study area in 1982 based on the 1: 10,000 topographic map (www.geoportal.gov.pl). 1 – the Pilica riverbed, 2 – islands



Ryc. 7. Koryto Pilicy w latach 2015–2017 na podstawie ortofotomapy RGB i CIR, Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezycznej i Kartograficznej w Warszawie. 1 – koryto Pilicy, 2 – wyspy, 3 – łachy

Fig. 7. The Pilica river bed in 2015–2017 on the basis of the RGB and CIR orthophotomaps, Provincial Center for Geodetic and Cartographic Documentation in Warsaw. 1 – the Pilica riverbed, 2 – islands, 3 – duds



Ryc. 8. Koryto Pilicy między Domaniewicami a Nowym Miastem nad Pilicą między 1937 a 2015–2017 rokiem. 1 – koryto Pilicy w 1937 r., 2 – koryto Pilicy w 1982 r., 3 – koryto Pilicy w latach 2015–2017

Fig. 8. The Pilica riverbed between Domaniewice and Nowe Miasto nad Pilicą between 1937 and 2015–2017. 1 – the Pilica riverbed in 1937, 2 – the Pilica riverbed in 1982, 3 – the Pilica riverbed in 2015–2017

Koryto Pilicy między Domaniewicami a Nowym Miastem nad Pilicą w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat uległo zwężeniu, w najszerszych miejscach o prawie 40 m. Potwierdzają to również mniejsze szerokości szyi meandrów (Tab. 1). Wskaźnik zdziczenia koryta zwiększył się (z 2,07% do 5,43%), podobnie jak udział odsypów centralnych w stosunku do ogólnej powierzchni koryta (Tab. 1). Obecnie obserwuje się więcej odsypów centralnych o małej powierzchni (Tab. 1). Może to najprawdopodobniej wynikać ze znacznie większej dokładności ortofotomapy niż tradycyjnych map topograficznych, a nie ze wzrostu ilości materiału niesionego przez rzekę.

Kolejną zależność to wydłużenie koryta rzecznego w obrębie analizowanego odcinka Pilicy o niecałe 0,5 km w porównaniu z rokiem 1937. Tym samym zwiększyła się też szerokość strefy meandrowania. Procesy te wyjaśniają większe wartości rozwinięcia i krętości koryta, jak również maksymalnej długości zakola (Tab. 1). Tendencja rzeki do meandrowania może także wyrażać się w mniejszej minimalnej długości zakola, co świadczy o skłonności Pilicy do tworzenia nowych meandrów.

Najbardziej prawdopodobną przyczyną takich zmian koryta Pilicy jest wybudowanie w 1974 roku Zbiornika Sulejowskiego. Utworzenie zapory na rzece spowodowało zatrzymanie części rumowiska w zbiorniku. W efekcie Pilica w dalszym biegu została odciążona, co wyjaśnia jej tendencję do meandrowania i zwężenie koryta, jak również stopniowy zanik cech koryta roztokowego.

Poza tym, w okresie 80 lat Pilica zachowuje zróżnicowaną szerokość koryta. Między Domaniewicami a Nowym Miastem nad Pilicą kształtują się odcinki bardzo szerokie i bardzo wąskie, a różnica między nimi występuje w przedziale od około 155 m do 200,5 m (Tab. 1).

6. Dyskusja i wnioski

Zmienność przedstawionych wskaźników morfometrycznych koryta Pilicy przemawia bardziej za uznaniem jej za rzekę meandrującą, a nie roztokową. Potwierdza to stanowisko Klimaszewskiego (1978), który za jedną z głównych cech koryt meandrujących uważa brak przeciążenia rumowiskiem. Natomiast klasyfikacja Nansona i Giblina (2004), oparta na wskaźniku krętości koryta, pozwala uznać rzekę za meandrującą dopiero wtedy, gdy wartość ta jest większa od 1,3. Zgodnie z tym kryterium Pilica nie może być scharakteryzowana jako rzeka meandrująca. Według Andrzejewskiego i in. (2018) Pilica należy do koryta typu krętego lub meandrującego. Zatem najbardziej stosowne jest zakwalifikowanie jej do koryt krętych, według propozycji Migonia (2006), który wydziela wartości wskaźnika krętości koryt krętych w zakresie 1,06–1,5. Jednak stwierdzenie, iż Pilica między Domaniewicami a Nowym Miastem nad Pilicą prezentuje typ koryta krętego nie jest do końca zgodne z rzeczywistością. Cechy koryta Pilicy na analizowanym odcinku nie pozwalają na jednoznaczne przypisanie jej do określonego typu. Taką możliwość przewiduje Schumm (1985), który wyróżnia koryta meandrująco-roztokowe. Za taką klasyfikacją Pilicy przemawia jej zmienna szerokość, a także kształtowanie się wysp i odsypów. Na podobny typ koryta wskazuje Zieliński (2015), wydzielając rzeki o tzw. przejściowym układzie koryta. Taki pośredni typ wydaje się najbardziej odpowiedni z uwagi na dążenie koryt rzecznych do osiągnięcia stabilności, zmieniając się z roztokowych na meandrujące. Po odniesieniu się do różnych typologii koryt rzecznych, najbardziej zasadnym wydaje się określenie Pilicy na analizowanym odcinku jako rzekę krętą wykazującą tendencję do meandrowania, z pozostałościami cech koryta roztokowego w postaci wysp i odsypów.

Tabela 1. Zmienność poszczególnych wskaźników morfometrycznych koryta Pilicy między Domaniewicami a Nowym Miastem nad Pilicą (oprac. własne)
Table 1. Variability of individual morphometric indicators of the Pilica riverbed between Domaniewice and Nowe Miasto nad Pilicą (own elaboration)

Wskaźnik morfometryczny koryta rzecznego	Wartość wskaźnika w 1937 roku	Wartość wskaźnika w 1982 roku	Wartość wskaźnika w latach 2015–2017
Długość koryta (L_{ch})	14,5 km	14,78 km	14,99 km
Maksymalna szerokość koryta (L_{ch1})	221 m	253,2 m	183,2 m
Minimalna szerokość koryta (L_{ch2})	52,4 m	52,7 m	27,8 m
Rozwinięcie koryta (U)	1,07	1,08	1,15
Krętość koryta (W_k)	1,07	1,08	1,09
Maksymalna szerokość równiny zalewowej (W_{p1})	2,41 km	2,44 km	2,41 km
Minimalna szerokość równiny zalewowej (W_{p2})	945 m	800 m	801 m
Szerokość strefy meandrowania koryta (W_s)	1,1 km	1,15 km	1,15 km
Zdziczenie koryta (r_a)	2,07%	3,26%	5,43%
Powierzchnia odsypów centralnych w stosunku do całej powierzchni koryta (P_o)	9,75%	15,23%	17,21%
Maksymalna powierzchnia odsypów centralnych (P_{maks})	16 921 m ²	36 746 m ²	24 180 m ²
Minimalna powierzchnia odsypów centralnych (P_{min})	850,7 m ²	534,2 m ²	6,35 m ²
Parametry meandrów			
Maksymalna długość zakola (S_1)	4,6 km*	4,98 km*	4,99 km*
Minimalna długość zakola (S_2)	562 m	677,3 m	171,4 m
Maksymalna szerokość szyi meandra (b_1)	3,2 km	2,04 km	2,01 km
Minimalna szerokość szyi meandra (b_2)	552,6 m	584 m	374,7 m
Maksymalna długość fali meandra (L_1)	4,7 km	2,8 km	2,9 km
Minimalna długość fali meandra (L_2)	1,2 km	1,3 km	883,4 m
Maksymalna rozpiętość meandra (A_1)	1,1 km	1,2 km	1,2 km
Minimalna rozpiętość meandra (A_2)	336,6 m	430 m	350,3 m

* meander w całości nie znajduje się w granicach obszaru badań.

Analiza morfometryczna koryta Pilicy między Domaniewicami a Nowym Miastem nad Pilicą z lat 1937–2015/17 wykazała skłonność rzeki do meandrowania, co wyraża się w większych wartościach rozwinięcia i krętości koryta. Tendencja ta wynika z ociążenia Pilicy po wybudowaniu Zbiornika Sulejowskiego, co spowodowało zwężenie koryta. Niewątpliwie istnieje potrzeba przeprowadzenia dokładniejszych, specjalistycznych badań, głównie

z zakresu sedymentologii, w celu lepszego poznania dna doliny Pilicy między Domaniewicami a Nowym Miastem nad Pilicą.

Podziękowania

Składam serdeczne podziękowania dr hab. Zbigniewowi Rdzanemu, prof. UŁ za pomoc, wszelkie rady i wsparcie merytoryczne podczas pisanie artykułu, a także recenzentom za konstruktywną krytykę.

7. Literatura

- Andrzejewski, L., Krzemień, K., Zwoliński, Z., 2018. Zarys przyrodniczych i antropogenicznych uwarunkowań rozwoju systemów dolinnych i korytowych w Polsce. *Landform Analysis* 37, 17–51.
- Bajkiewicz-Grabowska, E., Mikulski, Z., 1996. *Hydrologia ogólna*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Falkowski, T., Ostrowski, P., 2010. Rzeźba doliny Pilicy między Inowłodzem a Domaniewicami i jej związek z budową geologiczną podłoża aluwii, [w:] *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich* 9, Polska Akademia Nauk, Kraków, 53–63.
- Florek, E., 1983. Zastosowanie zdjęć lotniczych w badaniach den dolin rzecznych (na przykładzie dolnego Bobru). *Fotointerpretacja w geografii* 16, 22–23.
- Forysiak, J., 2010. Zastosowanie analizy zdjęć lotniczych do rekonstrukcji układu wielokorytowego środkowej Warty. *Landform to Analysis* 13, 113–118.
- Gierszewski, P., Szmańda, J., Luc, M., 2015. Zmiany układu koryt Wisły spowodowane funkcjonowaniem stopnia wodnego „Włocławek” na podstawie analizy zdjęć lotniczych. *Przegląd Geologiczny* 87(3), 517–533.
- Jagięło, J., 2013. *Pilica i jej dopływy*. Encyklopedia rzek Polski. Wydawnictwo CM (Ciekawe Miejsca.net), Warszawa.
- Jędrzejczyk, K., 2020. Rzeźba i dynamika dna doliny Pilicy między Domaniewicami a Nowym Miastem nad Pilicą.
- Kalicki, T., Fularczyk, K., 2018. Zmiany biegu koryta Krasnej (świętokrzyskie) w oparciu o dane kartograficzne i geologiczne. *Folia Geographica Physica* 17, 15–23.
- Kałmykow-Piwińska, A., Falkowski, T., 2012. Ocena stabilności morfologii koryta na podstawie analizy archiwalnych materiałów kartograficznych i fotogrametrycznych wykonywanej w środowisku GIS. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 58, 251–262.
- Klimaszewski, M., 1978. *Geomorfologia*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Klimek, K., Twardy, J., 2007. Kierunki i skala przekształceń den dolinnych, [w:] Starkel, L., Kostrzewski, A., Kotarba, A., Krzemień, K. (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski*. Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania Polskiej Akademii Nauk, Kraków.
- Kobojek, E., 2013. Wpływ działalności bobrów na lokalne procesy fluwialne w wybranych rzekach Równiny Łowicko-Błońskiej. *Folia Geographica Physica* 12, 17–32.
- Korpak, J., 2012. Morfologia i funkcjonowanie uregulowanego koryta rzeki górskiej (na przykładzie Mszanki w Gorcach). Przykład opracowania, [w:] Krzemień, K. (red.), *Struktura koryt rzek i potoków (studium metodyczne)*. Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Kraków, 89–101.
- Krzemień, K., 2012. *Struktura koryt rzek i potoków (studium metodyczne)*. Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Kraków.
- Migoń, P., 2006. *Geomorfologia*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Nanson, G.C., Gibling, M., 2004. Channel patterns, [w:] Gouldie A.S. (red.), *Encyclopedia of Geomorphology*, 137–139.
- Požaryski, W. (red.), Bukowy, S., Dadlez, R., Karnkowski, P., Kotański, Z., Kubicki, S., Marek, S., Raczyńska, A., Ryka, W., Sokołowski, J., Tomczyk, H., Tyski, S., Żelichowski, A.M., 1974. *Budowa geologiczna Polski. Tektonika część 1: Niż Polski*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
- Rurek, M., 2013. Wpływ działalności bobrów na rzeźbę małych dolin na przykładzie doliny Gajdówki, południowe Bory Tucholskie, Polska. *Journal of Health Sciences* 3 (15), 257–266.
- Schumm, S.A., 1985. Patterns of alluvial rivers. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 13, 5–27.
- Słowik, M., 2014. Reconstruction of anastomosing river course by means of geophysical and remote sensing surveys (the middle Odra valley, western Poland). *Geografiska Annaler Series a Physical Geography* 96(2), 195–216.
- 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.
- Starkel, L., 1988. *Historia dolin rzecznych w holocenie*, [w:] *Przemiany środowiska geograficznego Polski*. Wszechnica Polskiej Akademii Nauk.
- Stopka, R., 2011. Geomorfologiczne skutki działalności bobra europejskiego *Castor fiber* w dolinie górnego Sanu. *Roczniki Bieszczadzkie* 19, 319–334.
- Trafas, K., 1977. Rekonstrukcja zmian biegu koryta Wisły na podstawie zdjęć lotniczych. *Fotointerpretacja w Geografii* 10, 29–30.
- Witkowski, K., Szmańda, J., 2018. Anastomozowanie dolnej Skawy w świetle badań sedymentologicznych i materiałów archiwalnych, [w:] Kostrzewski, A., Stach, A., Majewski, M. (red.), *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*, tom 7. IGIG UAM, Poznań, 213–216.
- Zieliński, T., 2015. *Sedymentologia. Osady rzek i jezior*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Żelaźniewicz, A., Aleksandrowski, P., Buła, Z., Karnkowski, P.H., Konon, A., Oszczypko, N., Ślęczka, A., Żaba, J., Żytko, K., 2011. *Regionalizacja tektoniczna Polski*. Komitet Nauk Geologicznych PAN, Wrocław.

Tomasz Kalicki¹ • Paweł Przepióra¹ • Grzegorz Żarnowiecki³ • Grzegorz Król² • Marcin Frączek¹

⁽¹⁾ Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Geografii i Nauk o Środowisku, Zakład Geomorfologii i Geoarcheologii; ⁽²⁾ Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Nauk Medycznych, Zakład Mikrobiologii i Immunologii; ⁽³⁾ ul. Jeleniowska 128, 25-564 Kielce
E-mail: tomaszkalicki@ymail.com; pawelprzepiora1988@gmail.com; yaguarundi@wp.pl; grzegorz.krol@ujk.edu.pl; marcinfraczek1987@gmail.com

Przyczyny pożarów i skuteczność systemu ochrony przeciwpożarowej Lasów Państwowych w latach 2010–2019 na przykładzie Nadleśnictwa Kielce

The causes of fires and the effectiveness of the fire protection system of the State Forests in 2010–2019 on the example of the Kielce Forest District

Zarys treści

Celem opracowania jest ustalenie przyczyn pożarów lasów i skuteczności systemu przeciwpożarowego Lasów Państwowych na terenie Nadleśnictwa Kielce. Dokonano analizy porównawczej przebiegu wybranych danych meteorologicznych sprzyjających powstawaniu pożarów z danymi dotyczącymi pożarów lasów (bazy TETRAX elektronik, SILP, Llas.2) w latach 2010–2019, ze szczególnym uwzględnieniem pożarów o nieustalonych przyczynach. Pozwoliło to ustalić dominację czynników antropogenicznych nad naturalnymi w wywoływaniu pożarów. Stwierdzono dużą skuteczność systemu przeciwpożarowego, co związane jest m.in. z gęstą siecią dróg i brakiem większych, zwartych kompleksów leśnych.

Słowa kluczowe

Pożary lasów, system ochrony przeciwpożarowej, Nadleśnictwo Kielce, warunki meteorologiczne, ściółka leśna.

Abstract

The aim of the study is to determine the causes of the forest fires and the effectiveness of the State Forests fire protection system in Kielce Forest District. A comparative analysis of the course of selected meteorological data favoring the occurrence of fires and forest fires data (databases TETRAX electronic, SILP, Llas.2) in 2010–2019, with particular emphasis on fires with unknown causes was obtained and analyzed. This allowed to establish the dominance of anthropogenic over natural factors in forest fires ignition. The high effectiveness of the fire protection system was confirmed, which is related to i.e. with a dense network of roads and the lack of large, compact forest complexes.

Keywords

Forest fires, fire protection system, Kielce Forest District, meteorological conditions, duff.

1. Wprowadzenie

Jednym z najbardziej niebezpiecznych zjawisk naturalnych jest pożar lasu. Pożary naturalne w ostatnich dziesięcioleciach, na skutek zmian klimatycznych, a także gospodarki leśnej (np. sztuczne obsiewy o dużej ilości drzew na jednostkę powierzchni, nagromadzenie martwego drewna w obszarach chronionych, występowanie jedynie małych pożarów i zapobieganie dużym), stają się coraz częstsze, coraz bardziej gwałtowne i destrukcyjne. Rocznie trawią 4% obszaru łądów, a największe w ostatnich latach wybuchły w Kalifornii i Irlandii Północnej (2018), Amazonii i Australii (2019). Skala zjawisk i ich częstość spowodowały, że Pyne (2015) proponuje nazwanie obecnego okresu pirocenem, a wagę zjawiska podkreśla uruchomienie przez NASA i NOAA projektu badawczego FIREX-AQ, którego celem jest określenie składu dymów z pożarów biomasy i ich wpływu na zdrowie człowieka (McClure, Jaffe 2018; Prunicki i in. 2019; Dickman 2020).

Badania zagadnień związanych z pożarami lasów były podejmowane wielokrotnie już wcześniej, zarówno

w Polsce (m.in. Szczygieł 1982, 1985, 1987, 1988, 1991c, 1992, 2012; Ubysz 1992, 1994; Fraszewski 1994; Santorski 1994ab, 1999; Santorski, Mycke-Dominko 1998; Karlikowski i in. 1998; Wiśniewski 2001; Szczygieł i in. 2007, 2008; Wiłkomirski, Gutry 2010; Haze i in. 2012; Bogacz i in. 2011, 2014), jak i na świecie (m.in. Parminter 1983; Dumontet i in. 1996; Preston, Baldwin 1999; Odion, Davis 2000; Pierce i in. 2004; Certini 2005; Miller, Thode 2007; Xue, Li, Chen 2014; Feurdean i in. 2020; Gallagher i in. 2020). Wielu badaczy próbowało ustalić wpływ czynników naturalnych, jak warunki pogodowe (m.in. Karlikowski, Łonkiewicz 1975; Szczygieł 1991ab) lub antropogenicznych (np. Szczygieł 1977; Sakowska 1994; Ciura 2018) na powstawanie pożarów lasów.

Naturalne przyczyny zapału mają miejsce niezwykle rzadko i tylko przy sprzyjających warunkach meteorologicznych (uderzenie pioruna, susze i upały) oraz typu kompleksu leśnego. Warunki pogodowe determinują wilgotność ściółki i są to dwa główne czynniki, od których zależy podatność lasów na pożary. Zapłon i spalanie ściółki leśnej w lasach szerokości umiarkowanych są jak dotąd słabo

poznane. Nie ulega wątpliwości, że długotrwały brak opadów wpływa na spadek wilgotności ściółki. Sprzyja temu również wysoka temperatura powietrza i na podstawie tych dwóch elementów określa się w polskim leśnictwie zagrożenie pożarowe. Badania prowadzone w Instytucie Badawczym Leśnictwa (Szczygieł 2012) wykazały, że „pogodę pożarową” przy której obserwuje się wzrost częstotliwości pożarów lasu charakteryzuje: brak opadu atmosferycznego, małe zachmurzenie, wysoka temperatura powietrza i niska wilgotność względna powietrza. W Polsce zdecydowana większość (90%) pożarów lasów wybucha w dni, gdy wilgotność ściółki jest niższa niż 15% (Kaczmarowski 2016). W warunkach naszego klimatu wykluczono praktycznie zjawisko samozapłonu ściółki (Szczygieł 2010), choć występuje ono prawdopodobnie w borach Kanady (Kreye i in. 2013), a powszechnie w eukaliptusowych lasach Australii (Jones i in. 1990).

Ściółka leśna warunkuje możliwość powstania wielu pożarów i wpływa na ich dalsze rozprzestrzenianie się. Intensywność rozszerzania się pożaru zależy przede wszystkim od ilości i rodzaju materiałów palnych pokrywających powierzchnię gleby oraz prędkości wiatru. Płonące igliwie to doskonały nośnik ognia, który wydzielając ciepło szybko przesusza sąsiedni materiał roślinny. Składnikami ściółki są również drobne gałązki, złuszczone korowina i szyszki. Dojrzałe otwarte szyszki mają rozległą powierzchnię styku z powietrzem. Ich wilgotność jest niższa niż igliwia znajdującego się w ściółce. Sosnowe igliwie i szyszki zawierają olejki eteryczne, z których większość stanowią palne węglowodory monoterpene i pineny (Nurzyńska-Wierdak 2015). Według pirolologii leśnej zdecydowana większość (90%) pożarów lasów wybucha w dni, gdy wilgotność ściółki jest niższa niż 15% (dlatego zakaz wstępu do lasu wprowadza się przy trzecim stopniu zagrożenia pożarowego, jeśli przez kolejnych 5 dni wilgotność ściółki mierzona o godzinie 9:00 jest niższa niż 10%). Ściółka sosnowa staje się praktycznie niepalna przy wilgotności równej 28%. Najlepsze właściwości palne ma ściółka sosnowa. Ściółka pozostałych gatunków iglastych (świerk, jodła, modrzew), z uwagi na zwięzłą strukturę, zapala się gorzej od sosnowej. Dobrym materiałem palnym jest także ściółka bukowa po okresie wegetacji, tj. późną jesienią (Kaczmarowski 2016).

Wśród naturalnych przyczyn powstawania pożarów leśnych podawane są często wyładowania atmosferyczne. Według danych z Lasów Państwowych przyczyna ta stanowi zaledwie 2% wszystkich pożarów w państwowych lasach Polski (Marchelek 2020). Z danych Unii Europejskiej w Szwecji wyładowania atmosferyczne powodują około 4% pożarów leśnych (Ciura 2018). Realne zagrożenie stwarzają wyładowania atmosferyczne bez opadów deszczu, gdyż te ostatnie zwykle gaszą pożar w zarodku.

Przyczyny pożarów lasów są często trudne lub niemożliwe do ustalenia, ale w tym przypadku prawdopodobieństwo naturalnego zapłonu jest niewielkie. Dlatego bezpośredni i pośredni wpływ człowieka na wywoływanie pożarów lasów jest brany najczęściej pod uwagę (Szczygieł 2012; Ciura 2018) i wydaje się czynnikiem dominującym

na całym świecie. Jednak jednoznacznie udaje się to ustalić jedynie w przypadku złapania podpalacza na gorącym uczynku.

Niezależnie od przyczyny, pożary lasów mogą strawić w szybkim tempie wiele hektarów podszycia doprowadzając do zmian w środowisku leśnym. Często odbudowa zniszczonego lasu jest długotrwała i kosztowna, a zmiany na przestrzeni wielu lat zachodzą również w glebie zmieniając jej właściwości (Szczygieł 1989; Kutiel, Shaviv 1992; Przepióra i in. 2017).

Każde państwo posiadające na swoim terenie rozległe kompleksy leśne stara się je zabezpieczyć przed niszczącymi skutkami zjawisk naturalnych, jak i działalnością człowieka. Ochroną i gospodarką leśną w Polsce zajmują się Lasy Państwowe. W nadleśnictwach stosowany jest system przeciwpożarowy zapobiegający rozwinięciu się dużych pożarów na terenach leśnych i obszarach bezpośrednio do nich przyległych.

2. Cel i metody

Celem opracowania jest ustalenie przyczyn pożarów i skuteczności systemu przeciwpożarowego Lasów Państwowych w latach 2010–2019 na przykładzie Nadleśnictwa Kielce (Ryc. 1). Szczególną uwagę poświęcono pożarom o nieustalonych przyczynach, w szczególności rozpatrzeniu w jakich warunkach pogodowych i synoptycznych wystąpiły takie pożary oraz jaką rolę w ich powstawaniu odgrywała wilgotność ściółki. To studium przypadku można odnieść do innych nadleśnictw w kraju, a wnioski wynikające z artykułu, oprócz znaczenia naukowego, mogą mieć zastosowanie również w praktyce.

Dokonano analizy przebiegu wybranych danych meteorologicznych w badanym okresie, które mogły sprzyjać powstawaniu pożarów. Dane podstawowe, takie jak średnie miesięczne i roczne: temperatury powietrza, maksymalne temperatury powietrza, opady, liczba dni upalnych pozyskano ze stacji pomiarowej Kielce-Suków oraz bazy danych IMGW. Na podstawie cegodzinnych danych meteorologicznych z tej stacji analizowano przed wybuchem pożaru stan i rodzaj zachmurzenia, występowanie opadów lub wyładowań atmosferycznych. Z danych liczbowych określono temperaturę maksymalną i wilgotność względną minimalną powietrza przed godziną zgłoszenia pożaru. Wyznaczono dwa przedziały termiczne sprzyjające pożarom: 25,1–30,0°C jako gorąco oraz powyżej 30,0°C jako upalnie. Na podstawie doświadczeń metodycznych z Puszczy Białowieskiej (Żarnowiecki 1991, 1994) dla minimalnej wilgotności względnej powietrza przyjęto dwa przedziały: sucho 30–49% i bardzo sucho poniżej 30% (<http://www.danepubliczne.imgw.pl>).

Dla dni z pożarami o nieustalonych przyczynach dodatkowo określano sytuację synoptyczną wykorzystując klasyfikację Niedźwiedzia (1981) na podstawie codziennych map dolnych Europy (<http://www.knmi.nl>).

Z bazy „TRAX elektronik” dla stacji w Jędrzejowie (<http://www.traxelektronik.pl>) pozyskano dane na temat średniej temperatury przy powierzchni gruntu na wyso-

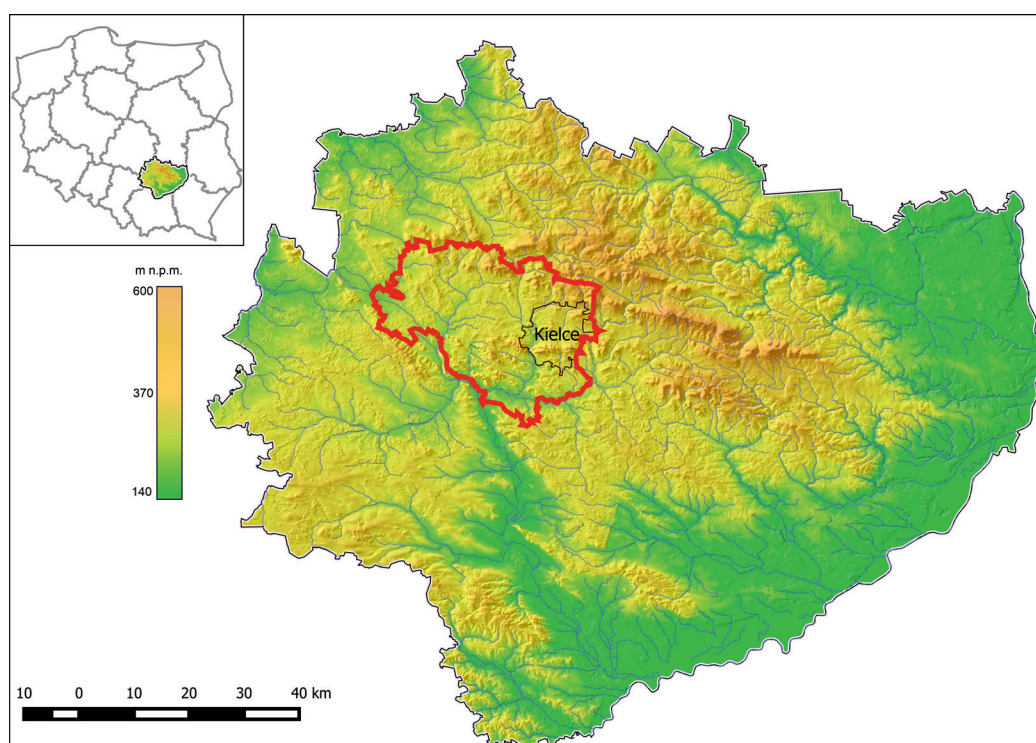
kości 5 cm oraz średniej wilgotności ściółki w ujęciu miesięcznym. Z 54 pożarów o niewyjaśnionych przyczynach połączono w jeden te, które pojawiły się jednocześnie w bezpośrednim sąsiedztwie, np. w tym samym oddziale. Uzyskano w ten sposób 49 pożarów o niewyjaśnionych przyczynach zapłonu. Pomiary wilgotności ściółki uzyskano w ujęciu dziennym z godziny 8:00 i 13:00. Ponieważ w dwóch przypadkach nie ustalono wilgotności ściółki, ograniczyło to dane do 47 dat. Dla dni z pożarem o nieustalonych przyczynach wydzielono 2 klasy wilgotności ściółki: powyżej 30% – ściółka niepalna i poniżej 15% – bardzo sucha.

Dane źródłowe dotyczące pożarów w Nadleśnictwie Kielce w latach 2010–2019 pozyskano z cyfrowej bazy danych „System Informacji Lasów Państwowych – SILP,

Llas.2” oraz systemu „Banku Danych o Lasach”. Opracowano mapę z lokalizacją i klasyfikacją wszystkich 92 pożarów (140 raportów) w formie tabelarycznej i graficznej z uwzględnieniem ich rozmiaru (powierzchnia w ha) i przyczyny powstania.

Dane meteorologiczne porównano z danymi pożarowymi, m.in. z lokalizacją pożarów względem infrastruktury drogowej i zabudowy, co umożliwiło prześledzenie przyczyn i interpretację zmian w występowaniu pożarów lasów na przestrzeni ostatniego dziesięciolecia.

Szczegółowej analizie poddano także sposób wykrycia oraz czas reakcji służb gaśniczych i ugасzenia ognia. Pozwoliło to na zweryfikowanie skuteczności systemu zwalczania pożarów.



Ryc. 1. Położenie obszaru badań na numerycznym modelu terenu (NMT) województwa świętokrzyskiego, oprac. M. Frączek na podstawie danych pozyskanych z CODGiK (MGGP Aero, Nr GI-FOTO.703.44.2014)

Fig. 1. Location of the research area on the Świętokrzyskie Voivodeship digital elevation model (DEM), ed. by M. Frączek based on the data obtained from CODGiK (MGGP Aero, No. GI-FOTO.703.44.2014)

3. Obszar badań

Nadleśnictwo Kielce położone jest w centralnej części województwa świętokrzyskiego (Ryc. 1) i podlega jurysdykcji Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Radomiu. Leży ono w mezoregionie fizycznogeograficznym Góry Świętokrzyskie (342.34-5) (Kondracki 1977, 2002).

Według regionalizacji przyrodniczo-leśnej (Sikorska 2004) lasy tego nadleśnictwa znajdują się w krainie Małopolskiej (VI), dzielnicy Gór Świętokrzyskich (VI.2), mezoregionach Puszczy Świętokrzyskiej (VI.2.a) i Łysogórskim (VI.2.b). Obszar nadleśnictwa wynosi około 166 km², a przeciętna zasobność drzewostanów wynosi 285 m³/ha. Badany obszar charakteryzuje się przewagą siedlisk bo-

rowych oraz średnim wiekiem sosny około 70 lat. Ponad 17% obszarów leśnych to lasy gospodarcze, 80% jest objęta ochroną, a ponad 2% znajduje się w granicach rezerwatów (<http://www.kielce.radom.lasy.gov.pl>).

W ostatnich latach granice administracyjne Nadleśnictwa Kielce zostały zmienione i w jego północnej części dokonano reorganizacji jednostek. W badanym okresie zlikwidowano Leśnictwo Łopuszno, którego obszar włączono do sąsiednich jednostek organizacyjnych oraz wydzielono nowe Leśnictwo Zawada, które obejmuje dużą część obszaru Leśnictwa Słowik. Obecnie Nadleśnictwo Kielce jest podzielone na 12 leśnictw: Dyminy, Słowik, Bilcza, Podzamcze, Dąbrowa, Gruchawka, Oblęgorek, Niewachlów, Dobrzeszów, Sojawa, Czartoszowy oraz Zawada.

4. Warunki meteorologiczne w analizowanym okresie

W latach 2010–2019 widoczny jest wyraźny wzrost średniej rocznej temperatury. Różnica pomiędzy 2010 i 2019 rokiem wynosi ok. 2,5°C (Tab. 1). Widoczny jest bardzo wyraźny wzrost temperatury miesięcy zimowych, co powoduje skrócenie okresu utrzymywania się pokrywy śnieżnej (cieple i suche zimy). Tendencja ta jest również znacząca w przypadku średniej maksymalnej temperatury w lecie. Rok 2015 charakteryzował się największą liczbą

dni upalnych (24), które wystąpiły w lipcu i sierpniu. W badanym okresie sumy roczne opadów osiągnęły znaczną różnicę ok. 250 mm pomiędzy rokiem najbardziej wilgotnym 752,6 mm (2014) a najsuchszym 486,7 mm (2018).

Z danych IMGW (Tab. 1) wynika, że rok 2018 jest 2-gim najcieplejszym rokiem w latach 2010–2019 średniej temperatury powietrza i niezwykle niską sumą opadów w kwietniu, w którym wystąpiło najwięcej pożarów lasów na terenie Nadleśnictwa Kielce w analizowanym dziesięcioleciu.

Tabela 1. Dane meteorologiczne z lat 2010–2019 ze stacji Kielce-Suków (<http://www.meteomodel.pl>)

Table 1. Meteorological data for 2010–2019 from the Kielce-Suków station (<http://www.meteomodel.pl>)

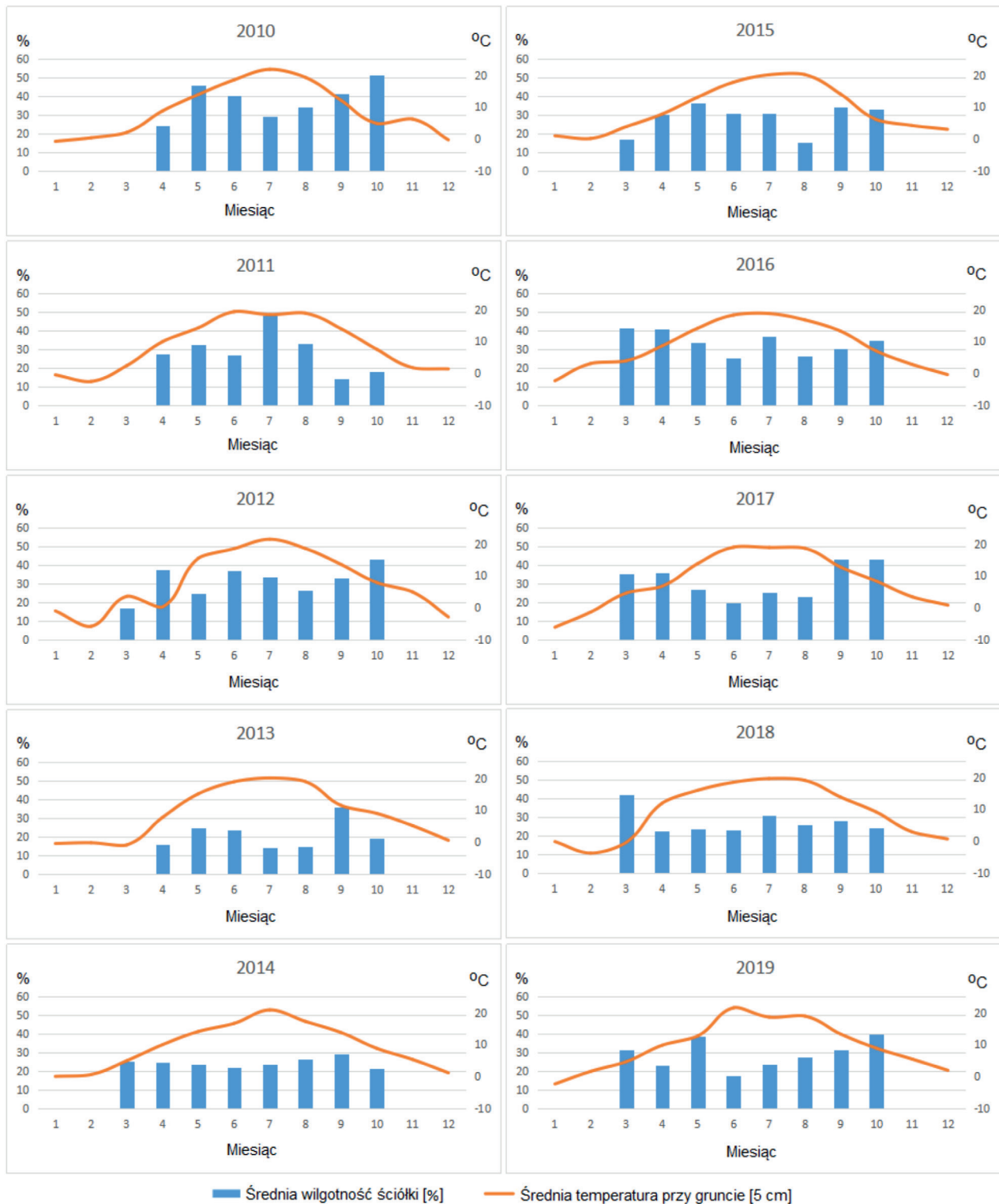
Średnia temperatura powietrza/Average air temperature [°C]													
R/M Y/M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
2010	-7,3	-2,1	2,2	8,3	13,0	16,9	20,3	18,5	11,8	5,1	5,8	-5,4	7,3
2011	-1,5	-3,5	2,7	9,9	13,3	17,9	17,3	18,2	14,4	7,8	2,0	1,5	8,3
2012	-1,9	-7,3	3,8	8,9	14,3	17,1	20,1	18,6	14,0	7,9	4,8	-3,4	8,1
2013	-3,3	-1,2	-1,9	7,9	14,1	17,7	18,9	18,5	11,6	9,4	4,9	1,0	8,1
2014	-2,0	1,2	5,7	9,7	13,3	15,5	19,8	17,1	14,3	9,0	5,0	0,5	9,1
2015	0,6	0,1	4,0	7,5	12,3	16,4	19,4	21,6	14,8	6,8	4,4	3,4	9,3
2016	-3,1	3,1	3,6	8,5	14,3	18,5	18,9	17,4	15,0	7,1	2,8	-0,1	8,8
2017	-6,1	-1,2	5,1	6,7	13,3	17,9	18,4	19,4	13,5	9,2	3,7	1,3	8,4
2018	0,3	-4,0	-0,2	13,0	16,8	18,3	19,6	19,7	14,8	9,7	3,9	0,6	9,4
2019	-2,8	2,0	4,8	9,6	12,5	21,6	18,2	19,7	13,6	9,6	5,9	2,1	9,7
Średnia temperatura maksymalna/Average maximum temperature [°C]													
R/M Y/M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
2010	-4,4	1,6	7,6	14,6	17,5	22,1	26,1	24,5	16,7	10,5	9,3	-2,3	12,0
2011	0,9	0,1	8,5	16,4	19,8	23,8	22,4	24,6	21,3	13,2	6,5	4,1	13,5
2012	0,6	-3,1	9,7	15,0	20,7	22,5	26,6	25,1	20,6	13,3	8,0	-0,6	13,2
2013	-1,3	1,0	1,8	13,2	19,5	22,8	25,5	25,5	16,6	15,2	8,0	4,3	12,7
2014	0,6	6,4	11,3	15,6	18,8	21,4	25,8	22,7	20,1	14,3	7,9	3,0	14,0
2015	3,3	4,0	9,7	14,0	18,1	22,2	26,4	29,2	20,1	12,1	8,2	6,9	14,5
2016	0,1	6,7	7,9	14,1	20,4	25,1	25,2	24,1	22,1	10,6	5,8	2,6	13,7
2017	-1,6	2,7	10,3	12,0	19,0	24,5	25,1	26,3	18,1	13,2	6,4	3,8	13,3
2018	3,0	-0,9	4,8	20,6	22,8	24,8	25,6	26,1	21,7	16,4	8,0	2,6	14,6
2019	-0,2	7,4	10,9	15,5	17,4	27,8	24,9	25,9	19,4	16,4	9,6	5,2	15,0

Liczba dni upalnych/Number of hot days													
R/M Y/M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
2010	0	0	0	0	0	1	5	1	0	0	0	0	7
2011	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
2012	0	0	0	0	0	1	6	4	0	0	0	0	11
2013	0	0	0	0	0	1	3	5	0	0	0	0	9
2014	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	3
2015	0	0	0	0	0	0	7	15	2	0	0	0	24
2016	0	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	7
2017	0	0	0	0	0	1	2	5	0	0	0	0	8
2018	0	0	0	0	0	1	1	3	0	0	0	0	5
2019	0	0	0	0	0	5	3	1	0	0	0	0	9
Suma opadów/Total rainfall [mm]													
R/M Y/M	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
2010	27,9	32,0	35,2	18,3	129,4	79,4	95,9	126,8	104,9	7,2	47,0	40,3	744,3
2011	26,5	21,1	8,6	28,5	48,1	56,4	241,4	40,7	4,6	24,4	0,3	36,6	537,2
2012	46,9	23,2	22,1	32,9	63,0	64,2	63,9	38,9	24,3	103,0	33,4	26,3	542,1
2013	64,9	29,2	48,7	17,3	133,7	92,8	12,1	26,9	71,4	10,9	57,9	25,8	591,6
2014	49,3	21,2	58,6	35,5	122,1	72,2	162,9	94,4	33,5	37,3	28,2	37,4	752,6
2015	43,9	27,8	34,3	26,4	107,6	60,9	50,6	11,7	72,5	32,9	68,9	21,0	558,5
2016	32,9	96,2	30,7	63,8	21,8	35,0	99,6	60,0	37,0	61,4	29,3	51,8	619,5
2017	17,9	30,0	36,0	104,5	45,5	21,9	72,1	61,1	130,6	93,2	55,6	43,4	711,8
2018	25,6	16,9	26,0	8,9	46,5	43,2	114,5	71,1	14,7	41,2	4,8	73,3	486,7
2019	55,4	22,6	42,6	41,5	125,7	28,7	64,1	135,3	63,0	33,3	34,6	47,1	693,0

W badanym okresie odnotowano również wyraźne zmiany warunków meteorologicznych, które mają kluczowy wpływ na występowanie pożarów lasów, m.in. temperaturę przy gruncie oraz wilgotność ściółki (Ryc. 2). W analizach wykorzystano pomiary temperatury 5 cm nad powierzchnią gruntu. Pomiary temperatury są prowadzone przez cały rok (dane uśrednione dla każdego miesiąca), natomiast wilgotność ściółki mierzona jest od marca do października (okres występowania największych zagrożeń pożarami lasów). Średnia miesięczna maksymalna temperatura na wysokości 5 cm nad powierzchnią gruntu w okresie letnim wynosi ok. 21,5°C. Jednak w niektórych latach, np. w kwietniu 2012 r., wartości te są wyraźnie niższe i równocześnie wzrasta wilgotność ściółki. Zwraca uwagę niska wilgotność ściółki w miesiącach letnich (V–VIII) i wiosennych (III–IV). Koresponduje to ze znaczną liczbą pożarów lasów o nieustalonych przyczynach w tych okresach (Tab. 2).

5. Pożary na analizowanym obszarze

Na terenie Nadleśnictwa Kielce w latach 2010–2019 wystąpiły 92 pożary (45 ugaszonych w zarodku, 39 małych i 8 średnich) o średniej powierzchni ok. 0,17 ha (Ryc. 3). W cyklu rocznym najczęstsze były wczesnowiosenne pożary lasów (marzec–kwiecień–maj), a najrzadsze pod koniec okresu zagrożenia pożarowego – we wrześniu. Największe pożary (średnie) miały miejsce również w okresie wczesnowiosennym (zazwyczaj kwiecień–maj). Do największego pożaru doszło w kwietniu 2012 roku w Leśnictwie Podzamcze (3,2 ha), natomiast najmniejsze (ugaszone w zarodku) zanotowano w 2016 roku, m.in. w Leśnictwie Niewachłów (około 0,01 ha). Rok 2019 wyróżnia się dużą liczbą pożarów lasów (26 przypadków), podobnie jak lata 2011 i 2018 (po 14 pożarów). Najmniej pożarów wystąpiło w 2014 i 2016 roku (zaledwie po 3 pożary) (Ryc. 4).



Ryc. 2. Podstawowe dane ze stacji Jędrzejów (las) dotyczące średniej temperatury powietrza w °C przy gruncie (5 cm) i wilgotności ściółki (w %) w latach 2010–2019 (<http://www.traxelektronik.pl>)

Fig. 2. Basic data from the Jędrzejów station (forest) about average air temperature in °C at the ground (5 cm) and duff moisture (in %) in 2010–2019 (<http://www.traxelektronik.pl>)

Tabela 2. Pożary o nieustalonych przyczynach (<http://www.traxelektronik.pl>) w określonych warunkach pogodowo-synoptycznych dla stacji Kielce-Suków (<http://www.danepubliczne.imgw.pl>, <http://www.knmi.nl>)**Table 2.** Fires of undetermined causes (<http://www.traxelektronik.pl>) under specific weather and synoptic conditions for Kielce-Suków station (<http://www.danepubliczne.imgw.pl>, <http://www.knmi.nl>)

Lp. No.	Data pożaru Fire date	Leśnictwo (oddział) Forestry (sector)	Godz. zgłoszenia Notification time	Drzewostan i wilgotność ściółki Forest stade and duff moisture	Tmax (godz.) przed pożarem Tmax (h) before fire	fmin (godz.) przed pożarem fmin(h) before fire	Sytuacja synoptyczna Synoptic situation
1	2010-04-26	Słowik (97 a)	16.02	SO 85	21,0 (15)	33 (15)	SE a
2	2010-06-12	Niewachłów (124 d)	13.46	SO KO	29,6 (12)	43 (11)	SW c
3	2010-07-01	Dobrzyszów (25 g)	14.15	SO 70	26,4 (12)	41 (12)	SW c
4	2010-07-13	Oblęgorek (85 f)	14.54	JD 55	29,9 (14)	41 (13)	E a
5	2010-07-20	Oblęgorek (85 d)	14.30	JD 60	25,5 (14)	63 (13)	E a
6	2011-03-25	Bilcza (141 c)	brak danych	OL 9	9,0 (12)	59 (12)	W c
7	2011-04-20	Gruchawka (79 d)	16.50	SO 70	17,7 (14)	25 (14)	E a
8	2011-04-21	Oblęgorek (88 c)	19.50	SO KDO	20,4 (15)	25 (15)	SE a
9	2011-04-28	Oblęgorek (88 c)	12.35	SO KDO	22,0 (11)	29 (11)	SE a
10	2011-04-28	Niewachłów (108 c)	16.45	SO 79	22,0 (11)	29 (11)	SE a
11	2011-05-22	Dąbrowa (1 c)	18.05	SO 60, 28	25,3 (13)	42 (13)	S a
12	2011-05-25	Dąbrowa (1 p)	13.50	SO KO	16,6 (12)	35 (12)	NW a
13	2011-06-05	Oblęgorek (85 a)	10.04	SO 70	26,3 (10)	35 (10)	S a
14	2011-06-05	Oblęgorek (83 c)	16.05	JD 60, SO KO	27,8 (14)	32 (15)	SE a
15	2011-06-27	Oblęgorek (84 d)	11.30	JD 55	19,5 (11)	37 (11)	N a
16	2011-09-11	Dyminy (11 a)	19.34	SO 60	26,8 (14)	51 (14)	SW a
17	2012-04-23	Podzamcze (163 n)	brak danych	SO 55, 65	13,0 (12)	57 (12)	W c
18	2012-05-23	Oblęgorek (85 i)	14.00	JD 55	26,9 (13)	29 (12)	NE a
19	2012-09-11	Oblęgorek (152 g)	15.04	SO KO	29,0 (13)	27 (13)	SW a
20	2014-03-14	Sojowa (133 g)	13.00	SO 57	15,3 (12)	26 (12)	NW c
21	2014-03-30	Oblęgorek (85 g)	14.12	JD 55	16,2 (14)	19 (14)	S a
22	2014-03-30	Gruchawka (79 a)	14.02	SO 70	16,2 (14)	19 (14)	S a
23	2015-05-05	Czartoszowy (81 a)	15.30	SO 82	23,9 (14)	46 (13)	SE a
24	2015-07-05	Oblęgorek (87 a)	13.40	SO 109	31,0 (13)	40 (13)	S a
25	2015-08-04	Oblęgorek (91 d)	16.33	JD 75	31,5 (13)	30 (13)	SE a
26	2015-08-24	Niewachłów (138 f)	15.00	SO 50	26,9 (13)	37 (13)	SE a
27	2015-08-28	Niewachłów (108 d)	14.20	SO KO	32,4 (13)	32 (13)	S a
28	2015-09-14	Niewachłów (137 i)	8.25	SO 56	17,5 (8)	66 (8)	SE c
29	2016-06-30	Niewachłów (105 c)	21.00	SO 79	30,2 (14)	35 (14)	SW a
30	2016-07-25	Niewachłów (133 c)	17.30	SO 79	28,5 (15)	40 (15)	S a
31	2016-08-31	Sojawa (112 c)	8.43	JD 60	18,1 (8)	57 (8)	NW a
32	2017-06-29	Niewachłów (111 f)	13.14	drzew. nie wydziel.	27,7 (13)	42 (13)	SW c
33	2017-08-07	Oblęgorek (89 f)	18.07	SO 11	21,0 (15)	44 (16)	E a
34	2017-08-08	Oblęgorek (98 f)	15.41	SO 11	23,2 (15)	48 (14)	SE a
35	2018-04-08	Gruchawka (71 j)	17.48	SO 74	21,5 (14)	40 (14)	S a
36	2018-04-21	Oblęgorek (86 z)	18.03	SO 94	24,8 (12)	37 (14)	W a
37	2018-05-06	Oblęgorek (98 d)	17.00	SO 57	19,6 (14)	36 (16)	NE a
38	2018-05-28	Niewachłów (121 a)	13.50	SO 76	25,7 (13)	36 (12)	SE a
39	2018-06-01	Niewachłów (121 h)	13.18	SO 15	29,1 (13)	32 (13)	SE a
40	2018-07-03	Dobrzyszów (38 h)	14.34	SO 105	22,6 (14)	36 (14)	N c
41	2018-07-04	Oblęgorek (157 c)	13.12	DB 100	26,5 (12)	28 (12)	W a
42	2018-10-13	Oblęgorek (157 c)	10.30	JD 65	19,0 (10)	52 (10)	NE a

Tabela 2. cd.

Table 2. continued

Lp. No.	Data pożaru Fire date	Leśnictwo (oddział) Forestry (sector)	Godz. zgłoszenia Notification time	Drzewostan i wilgotność ściółki Forest stand and duff moisture	Tmax (godz.) przed pożarem Tmax (h) before fire	fmin (godz.) przed pożarem fmin (h) before fire	Sytuacja synoptyczna Synoptic situation
43	2018-11-06	Gruchawka (62 b)	12.15	JD 70	17,2 (12)	49 (12)	S a
44	2019-04-22	Dąbrowa (59 f)	10.28	JD 65	13,4 (10)	59 (10)	E a
45	2019-04-22	Dąbrowa (68 a)	12.55	SO 5	14,4 (12)	47 (12)	SE a
46	2019-04-23	Oblęgorek (98 g, 161 a)	18.20	SO 16	17,4 (15)	30 (16)	SE a
47	2019-07-28	Sojawa (151 g)	15.15	SO 90, 4	31,7 (15)	33 (15)	SE a
48	2019-08-28	Niewachłów (137 a)	17.41	SO 73	29,8 (14)	45 (14)	S a
49	2019-09-01	Podzamcze (203 h)	SO 18	SO 18	29,3 (15)	46 (14)	S a

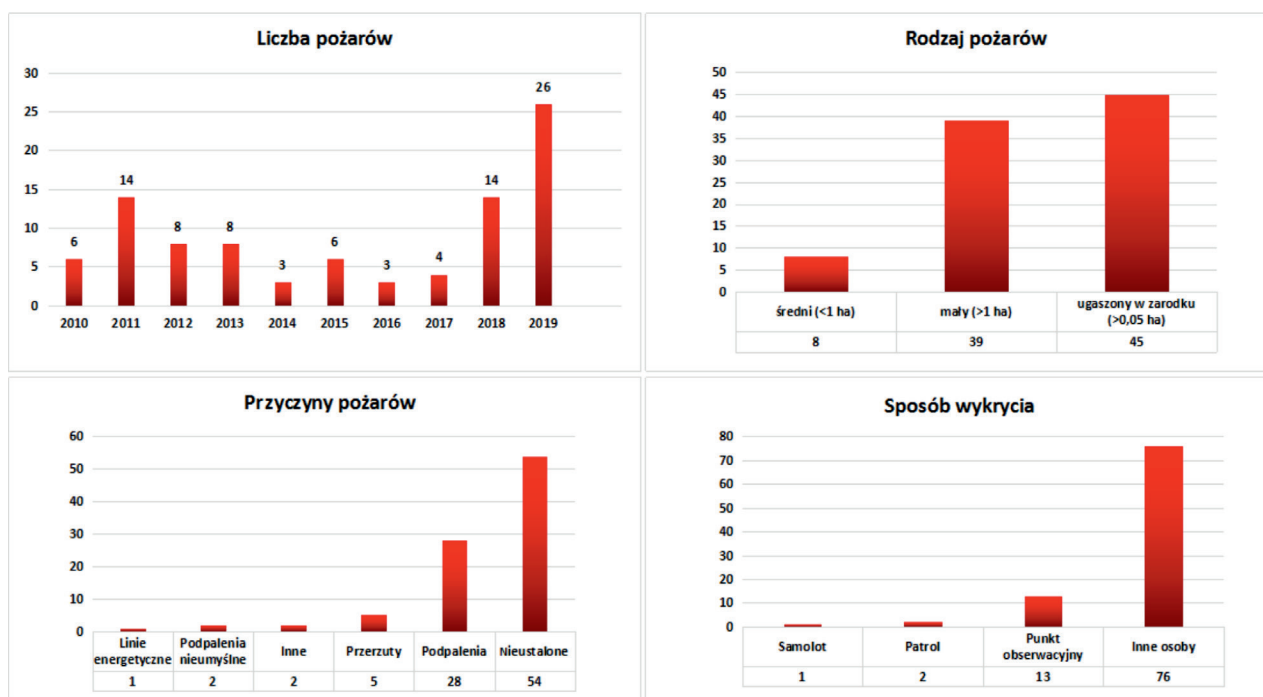
Objaśnienia/Explanations:

Tłustym drukiem oznaczono pożar średni
Medium fire is marked in bold

WIOSNA
LATO
JESIEŃ

<15%	25,1–30,0°C	30–49%
ściółka b.sucha/ very dry duff	gorąco/hot	sucho/dry
>27%	>30,0°C	<30%
ściółka niepalna/ non-flammable duff	upalnie/very hot	b. sucho/very dry
brak danych/no data		

Ryc. 3. Lokalizacja pożarów lasów na terenie Nadleśnictwa Kielce w latach 2010–2019 (oprac. w oparciu o dane z <http://www.bdl.lasy.gov.pl>)Fig. 3. Location of forest fires in the Kielce Forest District in 2010–2019 (based on data from <http://www.bdl.lasy.gov.pl>)



Ryc. 4. Sumaryczne dane dotyczące pożarów lasów w Nadleśnictwie Kielce w latach 2010–2019 (SILP, Llas.2)

Fig. 4. Summary data about forest fires in the Kielce Forest District in 2010–2019 (SILP, Llas.2)

Najwięcej zdarzeń wystąpiło w Leśnictwach Obłęgorek i Niewachłów, a najmniej, po jednym, w Leśnictwach Skorków i Zawada. Najczęściej pożary zostały zgłoszone przez inne osoby (76 przypadków), m.in. poprzez telefon na numer alarmowy, natomiast najmniej wykryły patrole naziemne (2 pożary) oraz samolot (1 pożar).

W analizowanym okresie aż w 54 przypadkach nie udało się ustalić przyczyny wybuchu pożaru. Ponadto rozpoznano 28 podpaień, a także sytuacje wyjątkowe, jak wywołanie pożaru przez linie energetyczne.

6. Pożary o nieustalonych przyczynach

Zasadniczo pożary o nieustalonych przyczynach mogą wynikać z niefrasobliwości, nieostrożności, czy nawet z celowego działania człowieka. Przykładowo są to: rzucana zapalka lub niedopałek papierosa, niedogaszone ognisko lub iskry od przejeżdżających pojazdów. Ponieważ przyczyny te nie sposób zweryfikować, a sprawca może nawet nie wiedzieć, że podpalił las, w tym rozdziale starano się powiązać pożary o nieustalonych przyczynach z czynnikami występującymi bez udziału człowieka, tj. warunkami pogodowymi i zależną od nich wilgotnością ściółki.

Pogoda sprzyjająca pożarom stanowiła 43% wszystkich dni z pożarami o nieustalonych przyczynach. W sumie pożary o nieustalonych przyczynach wystąpiły w większości w sytuacjach antycyklonalnych (83,6%) i przy adwekcji z sektora południowego (77,6%). Najczęściej były to sytuacje SEa (28,5%) i Sa (22,4%). Z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że pożary o nieustalonych przyczynach w ponad połowie przypadków były związa-

ne z napływem bardzo ciepłej i suchej masy powietrza zwrotnikowego. Masa ta powoduje szybkie wysychanie ściółki leśnej.

W rozpatrywanym dziesięcioleciu pożary o nieustalonych przyczynach wystąpiły w każdym roku, z wyjątkiem 2013. Najwięcej, bo 12 w roku 2011 i 10 w roku 2018. W sumie na okres miesięcy letnich (VI–VIII) przypadło 44,9% pożarów o nieustalonych przyczynach (Tab. 2). Na okres wiosenny (III–V) przypadło aż 42,9% pożarów o niezidentyfikowanych przyczynach, natomiast na jesienny (IX–XI) tylko 12,2%. Wiosenne pożary wynikały w dużej mierze z najniższej w roku wilgotności względnej powietrza (Żarnowiecki 1991; Krzyżewska i in. 2017). Najwcześniej pożar o nieustalonych przyczynach zgłoszono 25 marca 2011 roku w Leśnictwie Bilcza, a najpóźniej 6 listopada 2018 roku w Leśnictwie Gruchawka (Tab. 2). W Nadleśnictwie Kielce warunki sprzyjające pożarom o nieustalonych przyczynach odnotowano w bardzo suche dni kwietnia roku 2011 (Leśnictwa Gruchawka, Obłęgorek – pożar średni i Niewachłów – pożar średni), a także w maju 2012 (Obłęgorek) i w marcu 2014 (Leśnictwa Sojawa, Obłęgorek i Gruchawka, Tab. 2).

W każdym dniu, poza 31 sierpnia 2016 roku, gdy brakło pomiaru południowego, wilgotność ściółki z godziny 13:00 była niższa od tej z godziny 8:00 (Ryc. 5). Wskazuje to pośrednio na brak opadu między tymi terminami. Również dane obserwacyjne ze stacji synoptycznej Kielce-Suków nie wskazują na wystąpienie opadu w dniach i okresach przed zgłoszeniem pożaru. Wzrost temperatury powietrza i spadek wilgotności względnej prowadził do spadku wilgotności ściółki, do czego przyczyniał się również wzrost promieniowania i prędkości wiatru. Dlatego

tak ważne staje się określenie warunków pogodowych tuż przed pożarem.

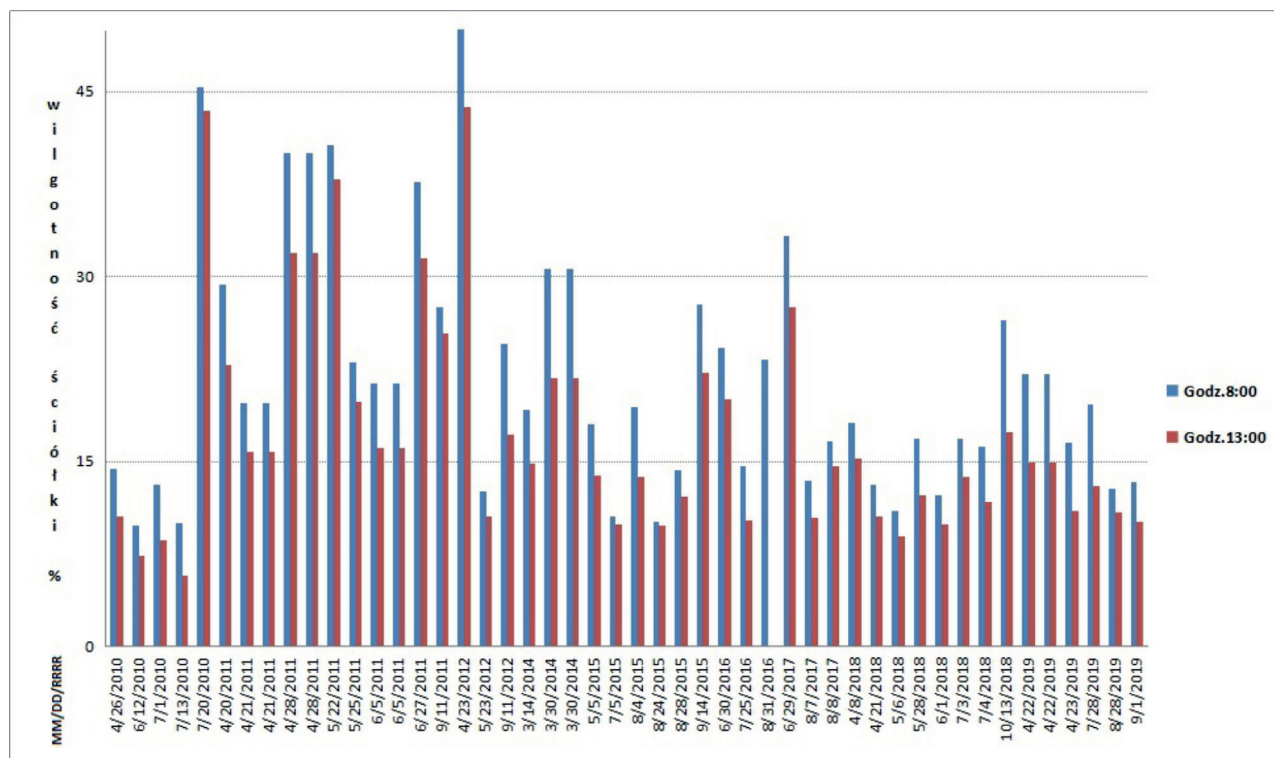
Okazało się, że sprzyjające warunki termiczno-wilgotnościowe przy bardzo suchej ściółce występowały przy 15 pożarach o nieustalonej przyczynie (30,6%). W roku 2010 dotyczyło to trzech pożarów (Leśnictwa Niewachłów, Dobrzeszów, Oblęgorek) i jeden raz w roku 2012 (Leśnictwo Oblęgorek). W roku 2015 zdarzyło się ich 4 (po 2 w Leśnictwach Oblęgorek i Niewachłów) i wszystkie związane były z falami letnich upałów, jakie przechodziły wtedy przez Polskę (Sulikowska i in. 2016). Dni gorące i upalne wystąpiły również podczas pożaru w lecie 2016 r. (Leśnictwo Niewachłów), wiosną i latem 2018 r. (Leśnictwo Niewachłów – latem pożar średni) i 3 razy w roku 2019 (Leśnictwa: Sojawa, Niewachłów – pożar średni, Podzamcze, Tab. 2).

Niepalna ściółka wystąpiła tylko w sześciu terminach pożarów (12,8%), co wskazuje na celowe podpalenie lasu (5 z nich to Leśnictwo Oblęgorek, jeden Podzamcze). W 16 przypadkach (34%) pożar zarejestrowano przy ściółce, która nie była zbyt sucha (16–27%), ale mogła zająć się ogniem wskutek celowego lub przypadkowego podpalenia. Zwłaszcza te ostatnie mogły zdarzyć się, gdy ściółka miała wilgotność mniejszą od 15%. Takich terminów było 26, co stanowi 55,3% niezidentyfikowanych pożarów. Jeżeli chodzi o drzewostany, to w 21 przypadkach (80%) były to bory sosnowe, w trzech (12%) bory jodłowe

i w jednym gład dębowy. Ponieważ zespoły borowe odznaczają się dużą zawartością lotnych substancji łatwopalnych w ściółce, zainicjowanie zapłonu, nawet pojedynczą iskrą, może doprowadzić do gwałtownego pożaru lasu.

Na 49 pożarów o niezidentyfikowanych przyczynach w jednym przypadku nie ustalono rodzaju drzewostanu (Tab. 2). Wśród określonych, aż 32 zbiorowiska (66,6%) stanowiły bory sosnowe, 10 bory jodłowe (20,8%), 4 bory mieszane (8,3%) i po 1 dąbrowy i olszyny (2,1%). Zdecydowana większość 95,8% pożarów o nieustalonych przyczynach wystąpiła więc w drzewostanach borowych, gdzie ściółka była najbardziej łatwopalna.

Niestety, ze względu na bardzo lokalny charakter występowania burz, a zwłaszcza piorunów, ustalenie takiej przyczyny dla Nadleśnictwa Kielce jest bardzo trudne. Wzięto pod uwagę warunki meteorologiczne panujące na synoptycznej stacji Kielce-Suków, ale nie stwierdzono w żadnym przypadku chmur burzowych *Cumulonimbus* z opadami w terminach pożarów o nieustalonych przyczynach. Oczywiście takiej możliwości nie można całkowicie wykluczyć, choć jest ona bardzo mało prawdopodobna, szczególnie po przeanalizowaniu warunków termiczno-wilgotnościowych i cyrkulacyjnych (fronty atmosferyczne). Nie ma przesłanek do stwierdzenia, że piorun był przyczyną jakiegokolwiek pożaru o nieustalonych przyczynach w Nadleśnictwie Kielce w rozpatrywanym dziesięcioleciu.



Ryc. 5. Wilgotność ściółki w % w dwóch terminach obserwacyjnych z dni pożarów o niezidentyfikowanych przyczynach. Dane pozyskane ze stacji Jędrzejów (las) (<http://www.traxelektronik.pl>)

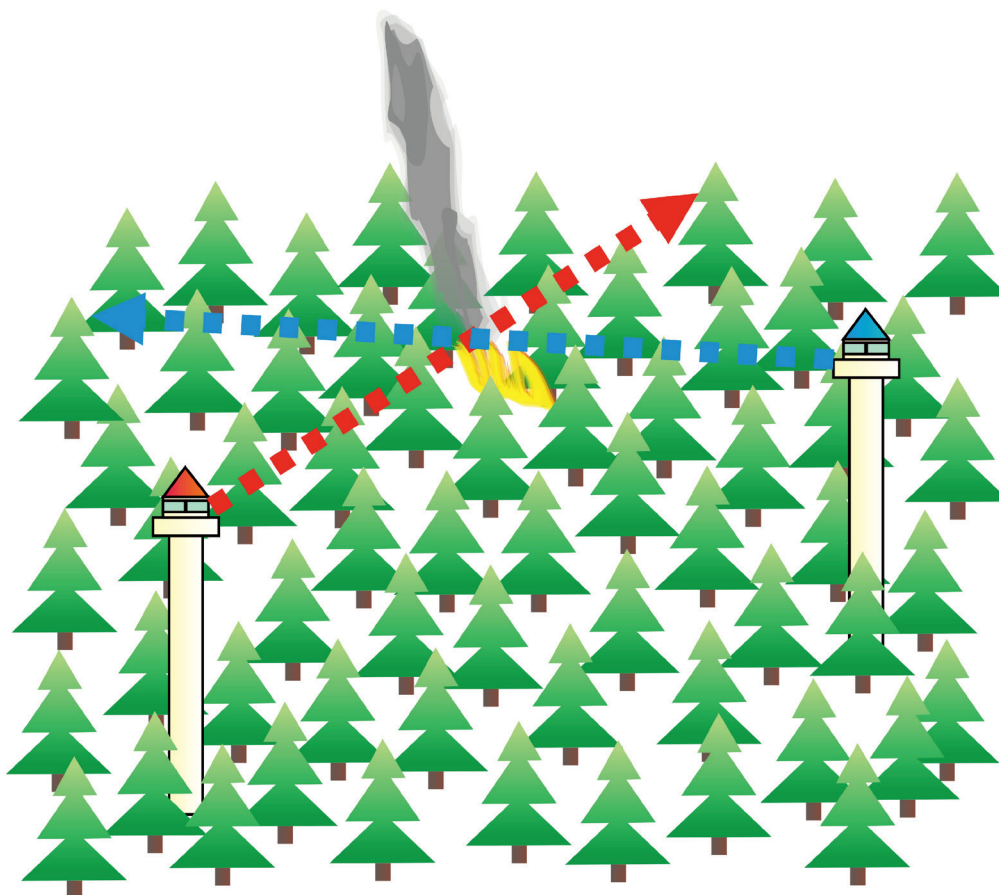
Fig. 5. The duff moisture in % in two observation dates from days of fires with unidentified causes. Data obtained from the Jędrzejów (Forest) station (<http://www.traxelektronik.pl>)

7. System ochrony przeciwpożarowej

W Polsce na terenie Lasów Państwowych funkcjonuje system ochrony przeciwpożarowej, którego zadaniem jest szybkie wykrycie i ugaszenie pożaru zanim dojdzie do jego rozprzestrzenienia na terenie kompleksu leśnego lub terenu bezpośrednio przylegającego do lasu. W tym celu prowadzona jest w okresie zagrożenia pożarowego (wiosna, lato i wczesna jesień) obserwacja za pomocą wież pożarowych, patroli naziemnych oraz Punktów Alarmowo-Dyspozycyjnych (PAD). Na terenie każdego nadleśnictwa znajdują się także inne elementy infrastruktury, które mają służyć do zwalczania pożarów lasów (drogi pożarowe, punkty czerpania wody, Leśne Bazy Lotnicze).

Centralnym elementem nadzorującym obserwację przeciwpożarową jest PAD, który znajduje się w każdym nadleśnictwie w Polsce. Do tego miejsca kierowane są wszystkie zawiadomienia o pożarach lasów: poprzez telefony alarmowe (widniejące na tablicach alarmowych przy drogach prowadzących przez tereny zalesione) od okolicznych mieszkańców zgłaszających pożar lasu, zgłoszenia o podejrzanych dymach dostrzeżonych z wież obserwacyjnych lub patroli naziemnych. Precyzyjna lokalizacja wystąpienia ewentualnego pożaru wymaga koordynacji co najmniej dwóch wież obserwacyjnych (Ryc. 6)

i PAD, do którego wysyłane są namiary widocznego dymu. Wieże obserwacyjne nie są przypisane wyłącznie do nadleśnictwa, na terenie którego się znajdują i często obserwatorzy współpracują ze sobą na pograniczu dwóch nadleśnictw. Obserwator znajdujący się na wieży zgłasza do PAD informacje i lokalizację domniemanego pożaru lasu. Informacje te są weryfikowane przez przynajmniej jeszcze jednego obserwatora z innej wieży. Podane przez obserwatorów współrzędne są wprowadzane na mapę nadleśnictwa, co pozwala na precyzyjne ustalenie miejsca zagrożonego pożarem, do którego wysyłany jest patrol naziemny. W zależności od sytuacji, patrol zgłasza do PAD pożar i może podjąć samodzielną akcję gaśniczą. Jeżeli pożar jest zbyt duży, PAD kieruje zgłoszenie do straży pożarnej. W przypadku dużego pożaru lub utrudnionego dostępu do zagrożonego obszaru leśnego, wysyłane jest zgłoszenie do Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych (RDLP) z prośbą o rzut powietrzny, tj. poprzez wysłanie samolotów gaśniczych typu Dromader lub śmigłowców (<http://www.katowice.lasy.gov.pl>). Po zakończonej akcji gaśniczej sporządzany jest protokół z pożaru, w którym podawane są informacje o stratach, rozmiarze pożaru, ilości jednostek gaśniczych itp. Dane te są wprowadzane do systemu „SILP, Llas.2”, z którego pozyskano analizowane w tym artykule parametry.



Ryc. 6. Sposób lokalizacji pożaru za pomocą wież obserwacyjnych
Fig. 6. Fire localization method using observation towers

Szczegółowa analiza danych z tego systemu dla Nadleśnictwa Kielce pozwoliła ustalić czas reakcji od momentu zgłoszenia pożaru do przystąpienia do akcji gaśniczej. Najkrótszy czas reakcji mieścił się w przedziale 5–10 minut, jednak zdarzały się sytuacje, kiedy czas reakcji wynosił 0 lub miał wartości ujemne. W tym pierwszym przypadku przyczyną takiej sytuacji jest bezpośrednie przystąpienie do akcji gaśniczej przez patrol naziemny, który wykrył i zgłosił pożar. W przypadku wartości ujemnych może być związane z powiadomieniem przez mieszkańców o pożarze lasu najpierw straży pożarnej, a dopiero później Lasów Państwowych. W takich sytuacjach na miejscu pożaru prowadzona jest już akcja gaśnicza, a do PAD dopiero dociera zgłoszenie. Trzeba też tego typu dane rozpatrywać pod kątem zwykłego błędu, który pojawił się w raportach. Najdłuższy czas reakcji wynosi 66 minut, natomiast średni czas reakcji po zgłoszeniu pożaru to ok. 9 minut (SILP, Llas.2).

Najkrócej trwająca akcja gaśnicza trwała od 0 do 20 minut. Krótki czas gaszenia ponownie może być związany z wykryciem pożaru przez patrol naziemny, który na miejscu rozpoczął akcję gaśniczą lub należy rozpatrywać niektóre dane jako błędne. Najdłużej trwająca akcja gaśnicza trwała 580 minut. Średni czas gaszenia pożaru wyniósł ok. 118 minut (SILP, Llas.2).

Rozmieszczenie miejsc występowania pożarów (Ryc. 3) na terenie nadleśnictwa pokazuje rejony o wyższym poziomie zagrożenia. Są to obszary w pobliżu dużych miejscowości (Kielce, Miedziana Góra) w północno-wschodniej części nadleśnictwa. Również w leśnictwach Obłęgorek i Niewachłów zlokalizowano duże skupiska różnych typów pożarów, które pojawiają się niemal w każdym roku w okresie prowadzenia pomiarów. Wszystkie odnotowane pożary lasów występowały na obrzeżach kompleksów leśnych, rzadziej w środku lasu. W miejscach największej liczby pożarów następowały tak zwane przerzuty i ponowne zaproszenie ognia na sąsiednich pododdziałach (czego efektem była większa liczba raportów, które należało wiązać z jednym zdarzeniem). Na obszarze Leśnictwa Obłęgorek dominowały pożary małe oraz gaszone w zarodku i pojawiały się one w obrębie jednego kompleksu leśnego. W Leśnictwie Niewachłów doszło do podobnej liczby pożarów małych i gaszonych w zarodku, ale także odnotowano największą liczbę pożarów średnich, które przekraczały 2 ha powierzchni. Największy pożar, który objął ponad 3,2 ha został wykryty przez patrol na terenie Leśnictwa Podzamcze w obrębie niewielkiego kompleksu leśnego (Ryc. 3).

8. Dyskusja

Obszar Nadleśnictwa Kielce charakteryzuje się brakiem zwartego kompleksu leśnego. Liczne, mniejsze kompleksy leśne i zagajniki tworzą mozaikę z wylesionymi terenami zagospodarowanymi przez człowieka. Ułatwia to dostęp do obszarów leśnych i jest głównym czynnikiem prowa-

dzającym do powstawania zagrożeń pożarowych. Dane wyraźnie wskazują na znaczącą przewagę czynnika antropogenicznego jako głównego źródła pożarów lasów w tym regionie. Dla wielu pożarów nie udało się ustalić przyczyn ich powstania, lecz ich rozmieszczenie na obrzeżach kompleksów leśnych w bliskiej odległości od zabudowań sugeruje, że działalność antropogeniczna była w tych przypadkach dominująca.

Rozproszenie obszarów leśnych i znaczne nasycenie nadleśnictwa punktami osadniczymi wpływa również na szybkie wykrywanie i gaszenie licznych, niewielkich pożarów zanim dojdzie do ich rozwinięcia. Były one szybko wykrywane głównie przez wieże obserwacyjne oraz mieszkańców pobliskich miejscowości.

Szczególną uwagę należy zwrócić przy analizie danych pogodowych na kwiecień, gdyż w tym miesiącu w latach 2010–2019 dochodziło najczęściej do pożarów lasów. Dane ze stacji w Jędrzejowie (Ryc. 2) pokazują wyraźne zmiany średniej miesięcznej temperatury powietrza 5 cm nad gruntem w poszczególnych latach, np. w czerwcu 2019 r. była ona wyższa, natomiast w kwietniu 2012 r. niższa niż w pozostałych latach. Rokrocznie w okresie letnim średnia miesięczna temperatura przekracza 20°C, a w latach najczęstszych pożarów lasów (2012 i 2019) osiągała nawet 24°C. Systematyczny spadek średniej wilgotności ściółki następuje co roku, a najniższe wartości miesięczne w okresie letnim w 2013 i 2019 roku wynosiły poniżej 20%.

Lata 2018 i 2019 wyróżniają się największą liczbą pożarów lasów w okresie prowadzenia pomiarów (Ryc. 4), w tym aż 3 pożary średnie miały miejsce w 2018 roku. Wpływ na to mogły mieć znacznie niższe opady w kwietniu 2018 roku i wyższe temperatury powietrza (średnia miesięczna) względem poprzednich lat (Tab. 1). Pożary w 2018 roku występowały przeważnie na początku maja i w czerwcu (nieco wyższe opady, ale również wyraźnie wyższe temperatury średnie powietrza), co było prawdopodobnie długofalowym skutkiem warunków pogodowych z kwietnia, gdyż ponowne uzyskanie wilgotności w granicach norm bezpieczeństwa zarówno przez glebę leśną, jak i przesuszoną ściółkę wymaga czasu. Najwięcej pożarów, ale niewielkich, występowało w 2019 roku, pomimo wyraźnego wzrostu średniej opadów i obniżenia temperatury powietrza dla kwietnia.

Zwiększaniu liczby pożarów w kolejnych latach może sprzyjać wyraźny wzrost średnich rocznych temperatur powietrza. Na liczbę pożarów nie wpływa liczba dni upalnych, np. z 24 takimi dniami w 2015 roku doszło do zaledwie 6 pożarów. Niewykluczone jest, że może być to efekt wprowadzania zakazów wejść do lasów, kiedy przy niekorzystnych warunkach pogodowych wilgotność ściółki jest niebezpiecznie niska, co zresztą widać dla danych z sierpnia 2015 roku (Ryc. 5).

Wśród pożarów o niezidentyfikowanych przyczynach praktycznie wykluczono wyładowania atmosferyczne.

9. Wnioski

Dane dla okresu 2010–2019 z Nadleśnictwa Kielce wskazują na wzrost liczby pożarów w kolejnych latach. Najwięcej pożarów miało miejsce w latach 2018–2019, a najmniej w 2014–2017. W przeważającej liczbie są to pożary wywołane przez człowieka lub o niezidentyfikowanej przyczynie (podpalenia?). Przeważającą liczbę stanowią małe pożary oraz ugaszone w zarodku. Pojawiają się one corocznie w tych samych miejscach, w pobliżu zabudowań i dróg, co może wskazywać na ich antropogeniczną przyczynę, bezpośrednią lub pośrednią.

Wywołane 3 z 8 większych pożarów (średnie) w 2018 roku, kiedy wilgotność ściółki była wyraźnie niższa niż w latach poprzednich, były związane z niekorzystnymi warunkami meteorologicznymi, jakie wystąpiły w tym roku, zwłaszcza w kwietniu. Zazwyczaj o tej porze roku dochodzi też do najczęstszych podpałek wywołanych, np. wypaleniem traw w pobliżu obszarów leśnych. Niewykluczony jest też wpływ stopniowego ocieplania się klimatu (wzrost średniej i średniej maksymalnej temperatury powietrza w latach 2010–2019), a także bardzo suchy i ciepły rok 2018, który wraz z suchymi i ciepłymi zimami doprowadził do osuszenia ściółki. Nagromadzenie tych niekorzystnych zmian oraz czynnik ludzki mógł być przyczyną wzrostu liczby pożarów w roku 2018 i 2019.

Pożary o niezidentyfikowanych przyczynach w rozpatrywanym dziesięcioleciu wystąpiły w większości w zbiorowiskach borowych, zwłaszcza w najbardziej palnych borach sosnowych. Ich przyczyny miały charakter głównie antropogeniczno-naturalny. Spowodowane były jednoczasowym wystąpieniem silnych właściwości palnych leśnej ściółki, sprzyjających warunków pogodowo-synoptycznych oraz zaproszeniem ognia przez człowieka. Z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że zainicjowany przez człowieka przypadkowy zapłon leśnej ściółki wystąpił w około połowie pożarów o nieustalonej przyczynie. W pozostałych należy szukać przyczyn w celowym podpaleniu z uwagi na wysoką wilgotność ściółki. Wśród pożarów o niezidentyfikowanych przyczynach praktycznie wykluczono wyładowania atmosferyczne.

Skuteczność zwalczania pożarów lasów na terenie Nadleśnictwa Kielce w analizowanych latach była bardzo duża. Czas reakcji na zgłoszenie i ugaszenie pożaru był krótki, co wiąże się z bardzo dobrą koordynacją służb oraz ułatwionym dojazdem do większości badanego obszaru, co wynika z rozbudowanej sieci drogowej i brakiem większych, zwartych kompleksów leśnych.

Podziękowania

Serdeczne podziękowania kierujemy do Nadleśniczego Nadleśnictwa Kielce, Pana Roberta Płaskiego, który umożliwił uzyskanie danych, na podstawie których przygotowano powyższe badania. Również szczególne podziękowania autorzy kierują do Panów Bartosza Bysieckiego i Piotra Przepióry za pomoc przy pozyskaniu i przetwarzaniu m.in. raportów pożarowych, jak również za niezwykle ważną pomoc merytoryczną.

10. Literatura

- Bogacz, A., Jędo, M., Woźniczka, P., 2011. Właściwości silnie przesuszonych organicznych gleb popożarowych obiektu Sobin–Jędrzychów. *Woda–Środowisko–Obszary Wiejskie* 11, 4 (36), 43–56.
- Bogacz, A., Łabaz, B., Woźniczka, P., 2014. Właściwości gleb organicznych popożarowych obszarów leśnych na przykładzie obiektu Mikorzycze–Górowo. *Woda–Środowisko–Obszary Wiejskie* 14, 4 (48), 5–16.
- Certini, G., 2005. Effects of fire on properties of forest soils: A review. *Oecologia* 143, 1–10.
- Ciura, T., 2018. Przyczyny i źródła wybuchu pożarów leśnych w Szwecji. *Monitor Leśny*.
- Dickman, K., 2020. Groźny dym z pożarów. *Świat Nauki* 4 (344), 28–35.
- Dumontet, S., Dinel, H., Scopa, A., Mazzatura, A., Saracino, A., 1996. Post-fire soil microbial biomass and nutrient content of a pine forest soil from a Dunal Mediterranean environment. *Soil Biology and Biochemistry* 28 (10/11), 1467–1475.
- Feurdean, A., Vannière, B., Finsinger, W., Warren, D., Connor, S.C., Forrest, M., Liakka, J., Panait, A., Werner, C., Andric, M., Bobek, P., Carter, V.A., Davis, B., Diaconu, A.C., Dietze, E., Feaser, I., Florescu, G., Gałka, M., Giesecke, T., Jahns, S., Jarmrichová, E., Kajukała, K., Kaplan, J., Karpinska-Kołaczek, M., Kołaczek, P., Kuneš, P., Kupriyanov, D., Lamentowicz, M., Lemmen, C., Magyari, E.K., Marcisz, K., Marinova, E., Niamir, A., Novenko, E., Obremska, M., Pędziszewska, A., Pfeiffer, M., Poska, A., Rösch, M., Słowinski, M., Stancikaite, M., Szal, M., Święta-Musznicka, J., Tantau, I., Theuerkauf, M., Tonkov, S., Valkó, O., Vassiljev, J., Veski, S., Vincze, I., Wacnik, A., Wiethold, J., Hickler, T., 2020. Fire hazard modulation by long-term dynamics in land cover and dominant forest type in eastern and central Europe. *Biogeosciences* 17, 1213–1230.
- Fraszewski, D., 1994. Kierunki zagospodarowania terenów po wielkich pożarach lasów, Raport IBL. Warszawa.
- Gallagher, M.R., Skowronski, N.S., Lathrop, R.G., McWilliams, T., Green, E.J., 2020. An Improved Approach for Selecting and Validating Burn Severity Indices in Forested Landscapes. *Canadian Journal of Remote Sensing*, <http://dx.doi.org/10.1080/07038992.2020.1735931>
- Haze, M., Widłaszewska, B., Kijewska, B., 2012. Instrukcja ochrony przeciwpożarowej lasu. Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu.
- Jones, J.C., Ramahti, H., Fowler, D., Vorasurayakarn, J., Bridges, R.G., 1990. The Self-Heating and Thermal Ignition Propensity of Forest Floor Litter. *Journal of Fire Sciences* 8 (3), 207–223.
- Kaczmarowski, J., 2016. Pirologia leśna. Przegląd Pożarniczy 7, 25–29.
- Karlikowski, T., Łonkiewicz, B., 1975. Badania i ustalenie kryteriów oceny zagrożenia pożarowego lasu w oparciu o warunki meteorologiczne i skład gatunkowy drzewostanu, Raport IBL. Warszawa.
- Karlikowski, T., Parzuchowska, J., Sakowska, H., Zajęc, S., 1998. Ocena ekonomiczna strat spowodowanych przez pożary w Polsce w latach 1991–1995. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 68, 52–58, SliTLiD, Warszawa.
- Kondracki, J., 1977. Regiony fizycznogeograficzne Polski. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Kondracki, J., 2002. Geografia regionalna Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kreye, J.K., Varner, M.J., Dugaw, C.J., Cao, J., Szecsei, J., Engber, E.A., 2013. Pine cones facilitate ignition of forest floor duff. *Canadian Journal of Forest Research* 43, 512–516.
- Krzyżewska, A., Wereski, S., Dobek, M., 2017. Wilgotność względna i dni charakterystyczne w Lublinie w latach 1951–2015. *Annales UMCS* 72 (2), 27–39.
- Kutieli, P., Shaviv, A., 1992. Effects of soil type, plant composition and leaching on soil nutrients following a simulated forest fire. *Forest Ecology and Management* 53, 329–343.
- Marchelek, M., 2020. Zagrożenie pożarowe w Lasach. Lasy Państwowe. Nadleśnictwo Kościan, <https://koscian.poznan.lasy.gov.pl/zagrozenie-pozarowe#.X2Ne5NSLS9I>
- McClure, C.D., Jaffe, D.A., 2018. U.S. particulate matter air quality improves except in wildfire-prone areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 115 (31), 7901–7906.

- Miller, J.D., Thode, A.E., 2007. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment* 109, 66–80.
- Niedźwiedz, T., 1981. Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły. *Rozprawy Habilitacyjne UJ* 58, 1–159, Kraków.
- Nurzyńska-Wierdak, R., 2015. Aktywność biologiczna olejków eterycznych roślin z rodziny *Pinaceae*. *Annales UMCS* 25 (3), 19–31.
- Odion, D.C., Davis, F.W., 2000. Fire, soil heating and formation of vegetation patterns in Chaparral. *Ecological Monographs* 70 (1), 149–169.
- Parminter, J., 1983. Fire-ecological relationships for the biogeoclimatic zones of the Cassiar Timber supply area. Northern Fire Ecology Project. Protection Branch Ministry of Forests, Victoria, B.C.
- Pierce, J.L., Meyer, G.A., Thackray, G.D., Wood, S.H., Lundeen, K., Borgert J.A., Rothwell, E., 2004. Fire and Ice in Central Idaho: Modern and Holocene Fires, Debris Flows and Climate in the Payette River Basin and Quaternary and Glacial Geology in the Sawtooth Mountains. Open-File Report 2004–1222. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- Preston, C.A., Baldwin, I.T., 1999. Positive and negative signals regulate germination in the post-fire annual, *Nicotiana attenuata*. *Ecology* 80 (2), 481–494.
- Prunicki, M., Kelsey, R., Lee, J., Zhou, X., Smith, E., Haddad, F., Wu, J., Nadeau, K., 2019. The impact of prescribed fire versus wildfire on the immune and cardiovascular systems of children. *Allergy* 74 (10), 1989–1991.
- Przepióra, P., Król, G., Frączek, M., Kalicki, T., Kłusakiewicz, E., 2017. Lokalizacja i interpretacja osadów po pożarach lasów – studium przypadku. *Acta Universitatis Lodzianensis. Folia Geographica Physica* 16, 43–49.
- Pyne, S.J., 2015. *Between two fires: A fire history of contemporary America*. University of Arizona Press.
- Sakowska, H., 1994. Człowiek przyczyną ognia w lesie. *Teczka Leśnego Prelegenta* 10, 4–7, ZG SiTLiD, Warszawa.
- Santorski, Z., 1994a. Rejonizacja zagrożenia pożarowego lasów w Polsce. *Rozprawa doktorska, maszynopis*, Warszawa.
- Santorski, Z., 1994b. Jaki las się łatwiej pali? *Teczka Leśnego Prelegenta* 10, 8–11, ZG SiTLiD, Warszawa.
- Santorski, Z., 1999. Prognozowanie zagrożenia pożarowego lasów. *Metoda IBL. Biblioteczka Leśniczego* 112, SiTLiD, DGLP, Warszawa.
- Santorski, Z., Myćke-Dominko, M., 1998. Katastrofalne pożary lasów – monitoring teledetekcyjny. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 68, SiTLiD, Warszawa.
- Sikorska, E., 2004. *Siedliskowe podstawy hodowli lasu. Ośrodek Rozwoju-Wdrożeniowy Lasów Państwowych*, Warszawa.
- Sulikowska, A., Wypych, A., Woszczyk, I., 2016. Fale upałów latem 2015 roku i ich uwarunkowania cyrkulacyjne. *Badania Fizjograficzne* 7, Seria A: Geografia Fizyczna (A67), 205–223.
- Szczygieł, R., 1977. Wpływ turystyki na zagrożenie pożarowe lasów i metody zapobiegania. *Las Polski* 4, Warszawa.
- Szczygieł, R., 1982. Planning, Organization and Techniques of Forest Fire Control by means of Ground Equipment. *Forest Fire Prevention and Control, Proceedings of an International Seminar org. by the Timber Committee of the UN, EC for Europe, Warsaw 20–22 May 1981, Hague; Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers*, 127–134.
- Szczygieł, R., 1985. Badanie czynników kształtujących powstawanie i rozprzestrzenianie się pożarów leśnych oraz doskonalenie metod zwalczania pożarów leśnych. IBL, Warszawa.
- Szczygieł, R., 1987. Kryteria oceny prognozowania zagrożenia pożarowego lasów. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 41, SiTLiD, Warszawa.
- Szczygieł, R., 1988. Organizacja, taktyka i technika zwalczania pożarów lasu. *Dokumentacja IBL, maszynopis*, Warszawa.
- Szczygieł, R., 1989. Rozprzestrzenianie się pożaru pokrywy gleby leśnej – próba modelowania. *Rozprawa doktorska, maszynopis*, Warszawa.
- Szczygieł, R., 1991a. The influence of weather factors on forest fire risk. *Proceedings of Seminar of Forest Fire Prevention, Land, Use and People. Athens, Greece 27.10–3.11.1991, Seminar ECE/FAO/ILO, Published by Ministry of Agriculture Secretariat General for Forest and National Environment*.
- Szczygieł, R., 1991b. Warunki meteorologiczne a pożary lasu. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Służby Pożarniczej* 1, Warszawa.
- Szczygieł, R., 1991c. A model of forest fire. *10eme Congres Forestier Mondial, Proceedings Actas* 2, Paris.
- Szczygieł, R., 1992. Modelowanie pożarów leśnych. *Przegląd Pożarniczy* 5, Warszawa.
- Szczygieł, R., 2010. Warunki kształtujące powstawanie i rozprzestrzenianie się pożarów lasu. Kampania informacyjna pt. „Ogień w lesie a przyroda – podniesienie świadomości mieszkańców terenów wiejskich w zakresie zapobiegania pożarom lasów”, Warszawa 20.09.2010, 1–35.
- Szczygieł, R., 2012. Wielkoobszarowe pożary lasów w Polsce. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza* 1, 67–78, CNBOP-PIB.
- Szczygieł, R., Ubysz, B., Kwiatkowski, M., Piwnicki, J., 2007. Kategoryzacja zagrożenia pożarowego lasów, Raport IBL (II etap). Sękocin Stary.
- Szczygieł, R., Ubysz, B., Kwiatkowski, M., Piwnicki, J., 2008. Kategoryzacja zagrożenia pożarowego lasów Polski, Raport IBL (III etap). Sękocin Stary.
- Ubysz, B., 1992. Pożary i ich skutki w środowisku leśnym. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 52, 73–79, SiTLiD, Warszawa.
- Ubysz, B., 1994. Ekologiczne następstwa pożaru lasu. *Teczka Leśnego Prelegenta* 10, ZG SiTLiD, Warszawa.
- Wiłkomirski, B., Gutry, P., 2010. Zmiany przyrodnicze w ekosystemach pod wpływem pożarów środowiskowych. *Rocznik Świętokrzyski, Seria B: Nauki Przyrodnicze* 31, 95–110.
- Wiśniewski, W., 2001. Organizacja i technologia gaszenia pożarów lasu. SA PSP, Poznań.
- Xue, L., Li, Q., Chen, H., 2014. Effects of a Wildfire on Selected Physical, Chemical and Biochemical Soil Properties in a *Pinus massoniana* Forest in South China. *Forests* 5, 2947–2966.
- Żarnowiecki, G., 1991. Wpływ ekosystemów leśnych na wilgotność względną powietrza w Białowieckim Parku Narodowym. *Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski*, 1–149.
- Żarnowiecki, G., 1994. Ocena stosunków wilgotnościowych powietrza w zbiorowiskach leśnych. *Przegląd Geofizyczny* 39 (2), 179–184.

Źródła internetowe

- <http://www.bdl.lasy.gov.pl>
- <http://www.danepubliczne.imgw.pl>
- <http://www.katowice.lasy.gov.pl/ochrona-przeciwpozarowa>
- <http://www.kielce.radom.lasy.gov.pl>
- <http://www.knmi.nl>
- <http://www.meteomodel.pl>
- <http://www.traxelektronik.pl>

Spis treści

Contents

ARTYKUŁY ARTICLES

Polina Lemenkova

GEBCO and ETOPO1 gridded datasets for GMT based cartographic Mapping of Hikurangi, Puysegur and Hjort Trenches, New Zealand

/Rastrowe zestawy danych GEBCO i ETOPO1 dla kartowania opartego na GMT. Kartowanie rowów Hikurangi, Puysegur i Hjort Trenches, Nowa Zelandia/..... 7

Daniel Przybyszewski

Zastosowanie metody ankietowej w badaniach fizycznogeograficznych: kwantyfikacja kulturowych świadczeń ekosystemowych w gminie Kowal

/The application of the survey method in physico-geographical research: quantification cultural ecosystem services in the Kowal commune/..... 19

Kinga Jędrzejczyk

Zmiany morfologiczne koryta Pilicy między Domaniewicami a Nowym Miastem nad Pilicą na podstawie analizy kartograficznej

/Morphological changes of the Pilica riverbed between Domaniewice and Nowe Miasto nad Pilicą on the basis of cartographic analysis/..... 31

Tomasz Kalicki • Paweł Przepióra • Grzegorz Żarnowiecki • Grzegorz Król • Marcin Frączek

Przyczyny pożarów i skuteczność systemu ochrony przeciwpożarowej Lasów Państwowych w latach 2010–2019 na przykładzie Nadleśnictwa Kielce

/The causes of fires and the effectiveness of the fire protection system of the State Forests in 2010–2019 on the example of the Kielce Forest District/..... 41

