

# GEOPRZESTRZEŃ

7

Kompleksowe badania środowiska geograficznego

Stulecie działalności  
Studenckiego Koła Naukowego Geografów  
im. Stanisława Pawłowskiego  
Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu



Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego  
Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu  
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych  
Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

# GEOPRZESTRZEŃ

7

**Kompleksowe badania  
środowiska geograficznego**

**Stulecie działalności  
Studenckiego Koła Naukowego Geografów  
im. Stanisława Pawłowskiego  
Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu**

Bogucki Wydawnictwo Naukowe  
Poznań 2023

Wydano przy wsparciu finansowym:



UNIwersYTET  
IM. ADAMA MICKIEWICZA  
W POZNANIU

Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu



Wydział Nauk  
Geograficznych i Geologicznych

Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM



Wydział Geografii  
Społeczno-Ekonomicznej  
i Gospodarki Przestrzennej

Wydziału Geografii Społeczno-Ekonomicznej  
i Gospodarki Przestrzennej UAM



STAROSTA POZNAŃSKI  
JAN GRABKOWSKI



POWIAT  
POZNAŃSKI

Starostwa Powiatowego w Poznaniu



Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska  
i Gospodarki Wodnej w Poznaniu



Bogucki Wydawnictwa Naukowego

**Redaktor:** Andrzej Kostrzewski

**Zastępca redaktora:** Dawid Abramowicz

**Sekretarz:** Mateusz Robaczewski

**Komitet redakcyjny:** Andrzej Kostrzewski (przewodniczący), Dawid Abramowicz, Małgorzata Cichoń, Iwona Hildebrandt-Radke, Ditta Kicińska, Leszek Kolendowicz, Tomasz Kossowski, Iwona Markuszewska, Paweł Matulewski, Grzegorz Rachlewicz, Mateusz Robaczewski, Mateusz Rogowski, Dariusz Wrzesiński, Zbigniew Zwoliński

**Recenzenci:** Małgorzata Cichoń, Leszek Kolendowicz, Barbara Konecka-Szydłowska, Mateusz Rogowski, Tadeusz Strykiewicz

**Projekt okładki:** Paweł Piekarski, Aniela Rząsa (wykorzystano fotomapę miasta Poznania przekazaną przez dr. Andrzeja Kijowskiego)

ISBN 978-83-7986-456-0

Bogucki Wydawnictwo Naukowe  
ul. Górna Wilda 90, 61-576 Poznań  
[www.bogucki.com.pl](http://www.bogucki.com.pl), e-mail: [biuro@bogucki.com.pl](mailto:biuro@bogucki.com.pl)

Druk i oprawa: PerfektDruk



## Spis treści

Przedmowa .....	7
<b>Część I: Badania fizycznogeograficzne wybranych regionów Polski</b>	<b>9</b>
<i>Mateusz Robaczewski, Igor Śniady, Dominika Jaster, Milena Zięba</i> Aktywność antropogeniczna a fazy procesów erozyjno-denudacyjnych zapisane w torfowisku Kazanie (Równina Wrzesińska) .....	11
<i>Adam Szczapiński, Kinga Bojkowska, Dawid Kozar, Stanisław Lewko, Anna Stasiewicz</i> Ostrzeżenia meteorologiczne w wybranych polskich miastach w 2021 roku .....	31
<i>Dawid Kozar, Adam Szczapiński, Weronika Welcz, Julita Sikora, Anna Stasiewicz</i> Analiza sytuacji pogodowych dla Poznania dla okresu bożonarodzeniowego, tj. 24–26 grudnia w latach 1961–2020, ze szczególnym uwzględnieniem obecności i grubości pokrywy śnieżnej	47
<i>Wiktoria Brzezińska, Dariusz Wrzesiński, Szymon Świątek</i> Wpływ ocieplenia klimatu na odpływ rzek w Polsce w latach 1951–2020	59
<i>Adrian Nowacki</i> Ocena powiązania wskaźnika NDVI z temperaturą powierzchni terenu dla Wolińskiego Parku Narodowego i Międzyzdrojów .....	75
<i>Milena Zięba, Julia Janus</i> Rozpoznanie usług ekosystemowych sieci ekologicznej wyspy Wolin na podstawie pokrycia terenu i jego zmian w latach 2015–2021 .....	87
<b>Część II: Wybrane metody badania środowiska geograficznego</b> .....	<b>101</b>
<i>Ada Pleszewska, Katarzyna Oblińska, Dominika Marsicka, Marta Stróżyk</i> Analiza systemów identyfikacji wizualnej (SIW) wybranych obszarów chronionych w Szwecji i Norwegii .....	103
<i>Radosław Jagła, Oliwia Kapuścińska, Stanisław Lewko, Wojciech Rymarkiewicz, Jakub Woźniak</i> Porównanie metod pomiarów inwentaryzacyjnych obiektów dziedzictwa kulturowego na przykładzie ruin zamku w Kole (Gozdów) .....	113
<i>Artur Olejniczak, Anna Kostrzewa, Jakub Sanojca</i> Analiza rozwoju społeczno-gospodarczego województwa wielkopolskiego w latach 2005–2019 .....	125



# Przedmowa

W roku akademickim 2022/2023 mija 100 lat od utworzenia Koła Naukowego Geografów Studentów Uniwersytetu Poznańskiego, którego kontynuatorem jest Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego UAM w Poznaniu. Podstawową formą działalności Koła od powstania do dzisiaj są badania naukowe realizowane w sekcjach specjalistycznych. Cechą charakterystyczną studenckich badań naukowych jest podejmowanie nowych problemów badawczych ze szczególnym zwróceniem uwagi na znaczenie praktyczne badań. Od roku 2018 Koło wydaje czasopismo „Geoprzestrzeń”, co pozwala studentom publikować recenzowane wyniki badań.

W niniejszym zeszycie przedstawiamy wybrane prace realizowane przez studentów w ramach sekcji specjalistycznych. Zeszyt 7 „Geoprzestrzeni” oddajemy do rąk czytelników w ramach obchodów 100-lecia powstania Studenckiego Koła Naukowego im. Stanisława Pawłowskiego UAM w Poznaniu.

lic. Adrian Sitarz  
Prezes SKNG UAM

prof. zw. dr hab. Andrzej Kostrzewski  
Opiekun SKNG UAM



## Część I:

# Badania fizycznogeograficzne wybranych regionów Polski



Klif woliński na zachód od Wisetki (7 lipca 2013 r., fot. D. Abramowicz)



*Mateusz Robaczewski, Igor Śniady, Dominika Jaster, Milena Zięba*

Sekcja Geomorfologii i Geoarcheologii  
Studenckiego Koła Naukowego Geografów  
im. Stanisława Pawłowskiego UAM w Poznaniu

## Aktywność antropogeniczna a fazy procesów erozyjno-denudacyjnych zapisane w torfowisku Kazanie (Równina Wrzesińska)

**Zarys treści:** Publikacja omawia wyniki badań paleoekologicznych oraz litologicznych na obszarze torfowiska Kazanie, a także ich interpretacje paleośrodowiskowe. Celem badań było określenie, w jaki sposób pradziejowa i historyczna działalność człowieka wpływała na rozwój procesów erozyjnych w badanym rejonie oraz czy procesy te zapisały się w osadach jeziornych i torfowiskowych. Górna część profilu została zbadana za pomocą analiz paleoekologicznych, w tym przede wszystkim palinologicznej, oraz wydatowana metodą AMS  $^{14}\text{C}$ . Dolną część profilu przeanalizowano metodami litologicznymi z wykorzystaniem dyfrakcji laserowej oraz strat prażenia (LOI). Potencjalny udział procesów erozyjnych, w szczególności erozji gleb w górnej części profilu, zinterpretowany został na podstawie wskaźników antropogenicznych uzyskanych z analizy pyłkowej i skorelowany z głównymi etapami przemian historycznych badanego obszaru. Na podstawie badań osadów tej części profilu, w których zapisane są antropogeniczne przekształcenia ekosystemów, stwierdzono rosnący ku stropowi wpływ człowieka na środowisko, który największą skalę osiągnął w XX wieku. Pod koniec XX wieku aktywność antropogeniczna maleje. W dolnej części profilu wydzielono trzy litofacje: dwie mineralno-organiczne (pierwsza i trzecia) oraz jedną organiczno-mineralną (druga). Stwierdzono, że litofacja pierwsza prawdopodobnie formowała się w okresie wpływów rzymskich i jest rezultatem osadnictwa i działalności gospodarczej kultury wielbarskiej oraz przeworskiej. Trzecią litofację z największą dostawą materii mineralnej łączyć można z okresem wczesnego średniowiecza. Drugą litofację, charakteryzującą się bardziej organicznym charakterem, wiązać można z okresem wędrówek ludów.

**Słowa kluczowe:** antropopresja, paleoekologia, palinologia, analiza uziarnienia, torfowisko Kazanie, Równina Wrzesińska

## Wstęp

Obszary podmokłe i torfowiskowe pełnią ważną rolę w obiegu wody w przyrodzie i wpływają na prawidłowe funkcjonowanie powiązanych z nimi systemów środowiska przyrodniczego.

Mokradło to obszar zdefiniowany przez Okruszko (1983) jako siedlisko uwodnione w takim stopniu, że możliwe jest występowanie w nim hydrofilnej roślinności oraz akumulacja organicznych utworów glebowych. Uwzględniając zasilanie, Dembek i Oświt (1992) wyróżnili: torfowiska fluwiogeniczne – zasilane wodami powierzchniowymi, szczególnie w obrębie koryta rzecznego; torfowiska soligeniczne – zasilane wodami podziemnymi z terenów sąsiednich, powszechne w rynnach i dolinach; torfowiska topogeniczne – zasilane mało dynamicznymi wodami podziemnymi niewielkich obniżeń i stref przyjeziornych; torfowiska ombrogeniczne – które zasilane przez oligotroficzne wody opadowe i zdominowane przez torfowce (*Sphagnum*) występują na niezalewowych obszarach młodogłacjalnych. Na terenie Polski postglacjalne odkładanie się torfów rozpoczęło się w okresie najstarszego dryasu oraz bøllingu/allerødu. Utworzone w ten sposób pokłady osadu biogenicznego zostały zasypane piaskami wydmowymi, część jednak po wytopieniu się martwego lodu została zalana, a obszary dawniej podmokłe przekształciły się w jeziora, w których doszło do odkładania się gytii detrytusowej w płytkich zbiornikach lub gytii wapiennej w głębszych. W różnych częściach holocenu na skutek zmian klimatu, zmian warunków hydrologicznych, czynników antropogenicznych, niektóre jeziora ponownie przekształciły się w torfowiska (Żurek, 1984; Ilnicki, 2002). Proces zajęcia toni wodnej jeziora przez roślinność torfotwórczą jest typowym procesem przemian jeziora w torfowisko uwarunkowanym narastaniem osadów jeziornych i wyplycaniem zbiornika albo obniżeniem wody w jeziorze (Tobolski, 2004). Są to torfowiska limnogeniczne. Najczęstszym obszarem ich występowania w Polsce są pojezierza.

Gytie są jeziornym utworem organicznym (sapropelowym) osadzającym się w słodkowodnych zbiornikach wód stojących, najczęściej w rynnach polodowcowych oraz jeziorach wytopiskowych. Dominują w jeziorach z wodą bogatą w tlen i substancję organiczną – plankton. Gytie składają się z: części organicznych, węglanu wapnia oraz części mineralnych bezwęglanowych.

Torf z kolei jest utworem będącym efektem niepełnego rozkładu szczątków roślinnych, zachodzącego w warunkach długotrwałego lub stałego zabagnienia górnej warstwy gleby. Składa się z nierozłożonych szczątków roślin oraz bezstrukturalnej (amorficznej) masy humusu. Jest w różnym stopniu nasycony substancjami mineralnymi, najczęściej jest to piasek, czasami wytrącone związki żelaza, rzadko związkami fosforu (Ilnicki, 2002).

Głównymi czynnikami wpływającymi na skład chemiczny osadów organicznych są przede wszystkim: budowa geologiczna i litologia, skład chemiczny osadów zlewni zbiornika akumulacyjnego, warunki klimatyczne, sposób zasilania ekosystemów wodnych, właściwości akumulacyjne roślin, zmiana natężenia denudacji oraz tempo sedymentacji utworów (Okupny i in., 2014). Źródła osadów mineralnych w osadach jeziornych i torfowiskowych dzielone są na trzy grupy



w zależności od ich pochodzenia: allochtoniczne, autochtoniczne oraz składniki mineralne pochodzenia biogenicznego. Osady allochtoniczne to materiał geologiczny, który jest dostarczany do torfowiska w postaci materiału detrytycznego (Rydelek, 2011). Powstaje głównie w wyniku akumulacji zewnętrznych osadów klastycznych dostarczanych w wyniku procesów erozyjno-denudacyjnych: rzecznych i stokowych (French, 2006). Z kolei osady autochtoniczne powstają w obrębie obszaru jeziora, torfowiska, składając się głównie z materii organicznej oraz węglanu wapnia (Rydelek, 2011). Ostatni rodzaj osadów – składniki mineralne pochodzenia biogenicznego – to m.in. pojedyncze fragmenty okrzemek czy muszle ślimaków, często traktowane jako czułe bioindykatory, których zróżnicowanie gatunkowe pozwala na zidentyfikowanie warunków przepływu wód w zbiornikach sedymentacyjnych czy odtworzenie wahania poziomu wody (Rydelek, 2011).

Elementami warunkującymi procesy erozji, transportu oraz akumulacji w zbiornikach akumulacji biogenicznej są szczególnie czynniki: geologiczne, geomorfologiczne, klimatyczne, hydrologiczne, ekologiczne oraz antropogeniczne. W okresie późnego glacjału i holocenu szczególne znaczenie miały: ilość wody pochodzącej z rozmarzającej wieloletniej zmarzliny, natężenie opadów, poziom wód powierzchniowych w zbiorniku, ilość dostarczanego materiału z obszaru zlewni, a także podatność obszaru na procesy stokowe (Majewski, 2008). Ponadto zbiorniki akumulacji biogenicznej oraz skala wpływających na nie procesów zależne są od działalności człowieka oraz postępujących globalnych zmian klimatu, które w ostatnich latach się wzmagają (Żurek, Tomaszewicz, 1989; Tobolski, 2004; Żurek, 2010; Micun, 2014; Czerwiński i in., 2021).

W dostawie materiału mineralnego do zbiorników akumulacji biogenicznej dużą rolę odgrywa ich położenie. Występowanie zbiorników w rynnach glacialnych o stromych zboczach sprzyja procesom stokowym. Badania Majewskiego (2008) i Forysiaka (2013) wskazują, że natężenie procesów erozji, transportu i depozycji zmieniło się w czasie późnego glacjału i holocenu. W zimnych okresach późnego glacjału istotną rolę ograły procesy stokowe: spłukiwanie i soliflukcja, a na zboczach rynien rozwijały się dolinki erozyjno-denudacyjne.

W holocenie rola procesów stokowych zaczęła maleć. Okres preborealny wyróżniał się rozwojem roślinności, w tym pokrywy leśnej (Alexandrowicz i in., 1989; Tobolski, 1998) oraz zmniejszeniem zasięgu wieloletniej zmarzliny, co ograniczyło udział erozji i denudacji. Znaczne zmiany w roli procesów erozyjno-denudacyjnych na zboczach rynien nastąpiły jednak wraz z pojawieniem się człowieka i uprawą przez niego roli oraz wylesieniami. Działalność człowieka doprowadziła do ponownej aktywizacji procesów stokowych w okresie subatlantyckim, co przejawiało się wzrostem roli procesów spłukiwania oraz akumulacji osadów terygenicznych docierających do zbiorników jeziornych. Po przemianach jezior w torfowiska zmniejszył się udział wody jako środka transportu materii mineralnej, natomiast w obu fazach rozwoju zbiorników możliwa była dostawa eoliczna osadów.

Przedmiotem badań był zbiornik akumulacji biogenicznej, znany jako torfowisko Kazanie, położony w rynnach glacialnych na południe od Pobiedzisk. W jego osadach zidentyfikowano fazę jeziorną i fazę torfowiskową. Celem badań było

rozpoznanie faz aktywności antropogenicznej w osadach jeziornych i torfowiskowych, które udokumentowano na podstawie dostępnych wyników badań paleoekologicznych oraz litologicznych.

## Obszar badań

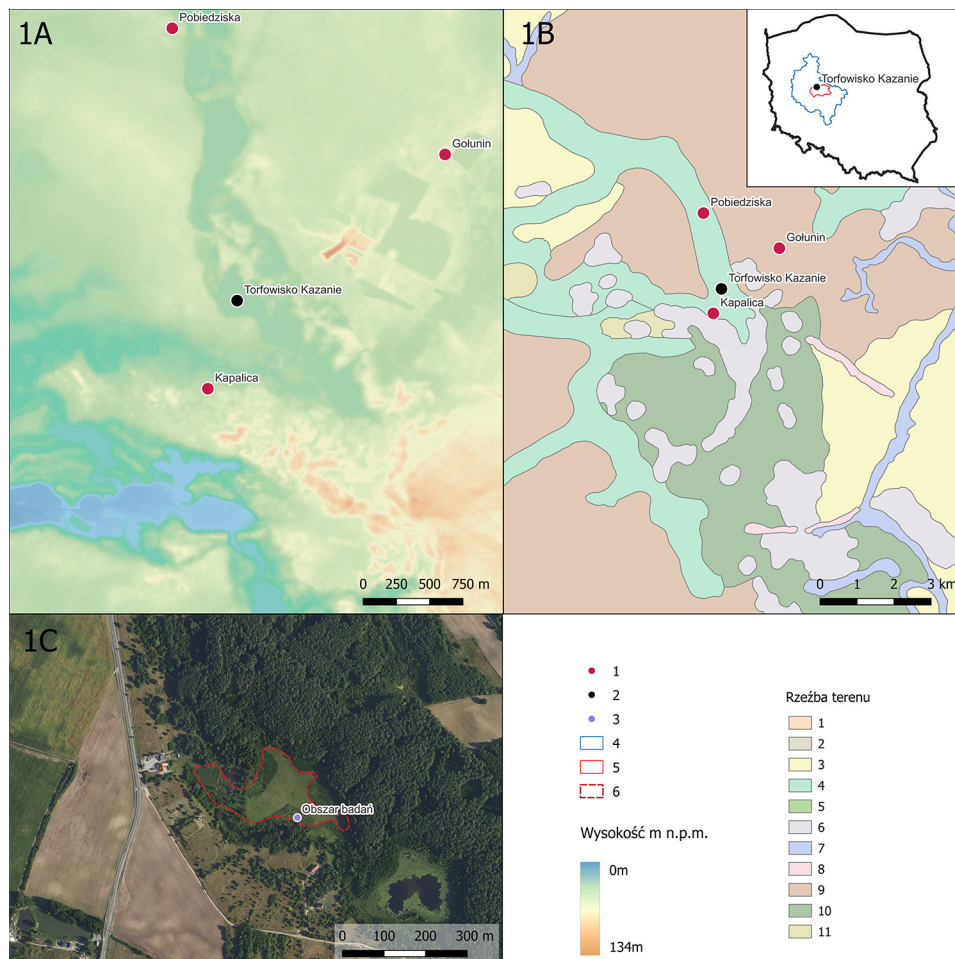
Torfowisko Kazanie położone jest w województwie wielkopolskim, na Równinie Wrzesińskiej, pomiędzy miastami Poznań oraz Gniezno, 2 km na południe od Pobiedzisk (ryc. 1). Równina ukształtowała się podczas zlodowacenia Wisły (faza poznańska) około 19 tys. lat temu (Marks, 2012). Obszar badań położony jest w rynn timer glacialnej ukierunkowanej NW–SE, która w części północnej łączy się z dużą równoleżnikową rynn timer Lednogóra–Pobiedziska. Pod względem geomorfologicznym obszar badań należy do Wysoczyzny Pobiedziskiej. Różnice wysokości względnej pomiędzy dnem rynny a wysoczyzną przekraczają 8 m. W badanej rynn timer występują jeziora Kazanie i Grzybianek oraz niewielki zbiornik w obrębie torfowiska Kazanie, które położone jest na północ od jeziora o tej samej nazwie. Jezioro Kazanie znane jest jako zbiornik nakredowy z rzadkimi chronionymi gatunkami (Macias i in., 2021). W otoczeniu rynny po obu stronach, a w szczególności po stronie zachodniej występują liczne pagórki morenowe – zarówno moreny czołowej, jak i glacitektonicznie spiętrzonej ze zlodowacenia Wisły o wysokościach maksymalnych 134 m n.p.m.

Od północnego wschodu obszar torfowiska pokryty jest lasami, natomiast od południowego zachodu dominują w krajobrazie głównie tereny rolnicze wraz z ugorami i lasami. Ponadto badany obszar znajduje się na terenie sieci ekologicznej Natura 2000 oznaczonej jako PLH300030 (Ostoja koło Promna), co oznacza, że podlega ochronie prawnej. Jednak ze względu na prowadzoną działalność człowieka oraz występujące w ostatnich latach susze, torfowisko ulega zanikowi (Czerwiński, 2021).

## Metody badań

Rdzeń osadów został pobrany podczas prac terenowych na torfowisku Kazanie przez zespół Pracowni Ekologii Zmian Klimatu WNGiG UAM. Dane z górnej części materiału (do 92 cm p.p.g.) pobrano za pomocą próbnika torfowego typu Wardenaar o rozmiarach 100 × 10 × 10 cm (Wardenaar, 1987), natomiast do dolnej części profilu (100–181 cm p.p.g.) wykorzystano próbnik torfowy Instorf typu rosyjskiego o średnicy 7 cm. Odcinek rdzenia 92–100 cm został wykluczony z dalszych analiz ze względu na znaczną kompaktację osadów. Część górna opracowana została metodami paleoekologicznymi, w szczególności metodą palinologiczną, oznaczono także makroszczałki, palinomorfy niepyłkowe oraz udział makro- i mikrowęgli drzewnych. Dla górnej części profilu do głębokości 92 cm zostało wykonanych 19 datowań metodą AMS <sup>14</sup>C w Poznańskim Laboratorium Radiowęglowym. Na ich podstawie opracowano model wiek/głębokość dla górnej

części profilu (0–92 cm głębokości). Uzyskane wyniki zaprezentowano w trzech publikacjach: Czerwińskiego i in. (2019, 2021) oraz Karpińskiej-Kołaczek i in. (2022). W publikacjach tych przedstawiono zapis historycznych przemian śro-



Ryc. 1. Torfowisko Kazanie i tereny sąsiednie na tle (A) mapy hipsometrycznej, (B) mapy geomorfologicznej, (C) ortofotomapy

1 – miejscowości; 2 – torfowisko Kazanie; 3 – punkt wykonania odwiertu; 4 – województwo wielkopolskie; 5 – Równina Wrzesińska; 6 – granice torfowiska; 7 – drobne doliny i parowy; 8 – pagórki morenowe odosobnione; 9 – równiny sandrowe; 10 – rynny o dnie płaskim; 11 – stopnie terasowe, krawędzie; 12 – strefa pagórków moreny czołowej; 13 – terasa zalewowa, dna basenów; 14 – wały ozowe; 16 – wysoczyzna morenowa falista; 16 – wysoczyzna morenowa pagórkowata; 17 – wysoczyzna morenowa płaska

Źródło: opracowanie własne na podstawie (A) danych SRTM 30, (B) Szczegółowej mapy geologicznej Polski. Arkusz Pobiedziska (473), (C) danych z granic torfowiska (dostęp: 22.02.2022).

Fig. 1. Kazan bog and neighbouring areas on the background of (A) hypsometric map, (B) geomorphological map, (C) orthophoto

dowiska w świetle badań paleoekologicznych górnej części profilu torfowiska Kazanie.

Dolny segment rdzenia został udostępniony Sekcji Geomorfologii i Geoarcheologii SKNG do analiz litologicznych. W celu określenia granulometrii osadu przeprowadzono analizę dyfrakcji laserowej, wykorzystując urządzenie Mastersizer 2000 z przystawką wodną firmy Malvern Panalytical Inc. Otrzymane dane przeanalizowano pod kątem statystycznym metodą Folka i Warda (1951), które obliczono przy użyciu narzędzi Microsoft Office Excel 365 z makrem Gradistat ver. 9.1 (Blott, Pye, 2001 w modyfikacji Juśkiewicza). Udział części mineralnych i organicznych określono metodą *Loss on Ignition* (LOI), prażąc osad w temperaturze 550°C, a następnie 950°C w piecu muflowym (Heiri i in., 2001).

W pracy posłużono się danymi archeologicznymi i historycznymi dotyczącymi zasiedlenia badanego obszaru w pradziejach i czasach historycznych, pod kątem wskazania człowieka jako potencjalnego czynnika przemian środowiskowych w otoczeniu torfowiska.

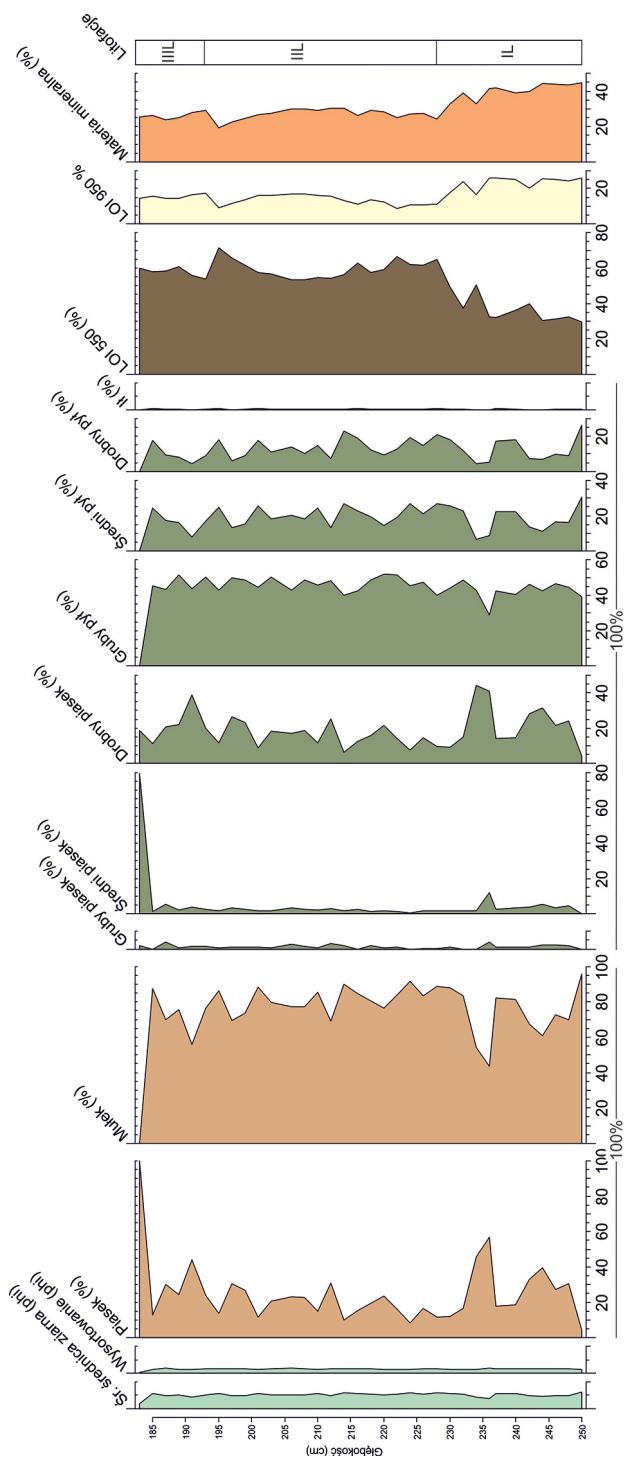
Badania dolnego segmentu profilu omówiono w niniejszej publikacji. Szczegółowe opracowania, którym była poddana górna część profilu, umożliwiły wykonanie modelu wiek/głębokość (Czerwiński i in., 2021), który został wykorzystany przez autorów.

## Fazy erozji zapisane w badaniach litologicznych

Wykonane wcześniej analizy paleoekologiczne umożliwiły dobre rozpoznanie stratygrafii osadów w pobranym rdzeniu. Od stropu do głębokości 118,5 cm występują torfy, poniżej 118,5 cm do 250 cm rozpoznano gytie (Czerwiński i in., 2021). Hipsometria torfowiska Kazanie, występowanie niewielkiego zbiornika wodnego w zachodniej części torfowiska oraz większego, leżącego od strony południowo-wschodniej torfowiska w tej samej rynnie glacialnej, wskazują, że prawdopodobnie są to części jednego dużego jeziora, które z czasem się wypłycało i zamieniło w torfowisko.

Badany fragment rdzenia osadów od głębokości 182–250 cm reprezentuje osady jeziorne. Analizy struktury uziarnienia osadów oraz udziału materii organicznej i węgla wapnia umożliwiły wydzielenie trzech litofacji: pierwszej (229–250 cm) o charakterze mineralno-organicznym, drugiej (194–228 cm) – organiczno-mineralnej i trzeciej (182–193 cm) – mineralno-organicznej (ryc. 2).

Udział węgla wapnia w osadach badanego profilu maksymalnie dochodzi do 25%. Takie wartości występują w litofacji I, co może sugerować wzrost węglanowości osadów wraz z głębokością jeziora. W całym rdzeniu w strukturze uziarnienia dominującą frakcją są mułki. Można je określić jako mułki spiazyczne, gdyż charakteryzują się różnym udziałem domieszek piaszczystych. Składają się na nie przede wszystkim grube pyły z domieszkami drobnego piasku, średnio- i drobnoziarnistego pyłu. Ił ma znikomy udział w analizowanym rdzeniu osadów. W osadach nie odnotowano ziaren większych od gruboziarnistych piasków. Osad badanego rdzenia (od głębokości 181,5–250 cm) można zaliczyć do gytii



Ryc. 2. Rozkład składników mineralnych, organicznych i węgla wapnia, udziału procentowego głównych frakcji granulometrycznych i podstawowych parametrów uziarnienia metodą Folk i Warda (1957) oraz litofacji  
 Źródło: opracowanie własne.

Fig. 2. Distribution of mineral, organic and calcium carbonate components, percentages of major granulometric fractions and basic grain size parameters by the method of Folk and Ward (1957) and lithofacies



detrytusowej (Myślińska, 2001), która tylko w litofacji pierwszej miejscowo przechodzi w gytie detrytusowo-wapienną.

W pierwszej litofacji, spągowej, części organiczne stanowią 29,46–49,39% osadu. Bardzo podobne udziały wykazują części mineralne (32,76–44,73%). W składzie części mineralnych wyróżnić można gruboziarniste pyły (29,00–48,50%) ze znacznymi domieszkami drobnoziarnistych piasków (4,20–44,10%). Odnotowano również kilkuprocentowy udział piasków średnio- i gruboziarnistych oraz trochę większy udział frakcji drobniejszych od gruboziarnistych pyłów. Na głębokości 235–236 cm obecny jest piasek mułkowy, zaś spąg litofacji tworzy mułek. Udział węglanu wapnia w badanej litofacji wynosi 16,53–25,81%. Na głębokości 233–234 cm stwierdzono największe wartości materii organicznej (50,71%). Osady litofacji pierwszej w klasyfikacji gytii organicznej zaliczyć można do gytii drobnodetrytusowej (Markowski, 1980).

Druga litofacja zdominowana jest przez materiał pochodzenia organicznego. Udział ten wynosi 53,21–71,42%. Obecność węglanu wapnia oscyluje od 8,71 do 17,05%. Części mineralne utrzymują się pomiędzy 19,39 a 30,32%. W strukturze osadów mineralnych 40–50% udziału mają gruboziarniste mułki. Największe udziały materii organicznej w opisywanej litofacji zaznaczają się w stropie i spągu wydzielonej litofacji. W podziale gytii osady opisywanej litofacji można zaliczyć do gytii grubodetrytusowych.

W trzeciej litofacji nieco spada udział materii organicznej i wynosi 53,82–60,85%, bardziej wyrównane są wartości węglanu wapnia, osiągając rozpiętość 14,32–17,22%. Udział części mineralnych jest podobny jak w litofacji II i mieści się w przedziale 24,83–28,96%. Natomiast struktura części mineralnych odróżnia tę litofację od litofacji II. Frakcjami budującymi to wydzielenie są przede wszystkim pyły gruboziarniste (43,20–51,40%), w których obecne są domieszki piasku i drobniejszych pyłów – jak to widać w starszych litofacjach. Jednak od 190 cm ku górze rdzenia zwiększa się udział piasków średnio- i gruboziarnistych. Strop litofacji (182–183 cm) wyróżnia się na tle całego rdzenia monofrakcyjnym rozkładem, w 100% składającym się z piasków, przede wszystkim piasków średnioziarnistych (79,60%). Pomimo tego różnicowania, również osady tej litofacji zaliczyć należy do gytii drobnodetrytusowych.

Na podstawie analizy litofacjalnej można stwierdzić, że badany rdzeń osadów reprezentuje środowisko jeziorne cechujące się spokojną sedymentacją, o czym świadczy typ osadów mineralnych, głównie grubych mułków, co wskazuje, że materiał transportowany był w znacznej mierze w zawieszynie, jedynie w miejscach, gdzie występowały domieszki grubego i średniego piasku, można wskazać na udział saltacji w przemieszczaniu się osadów.

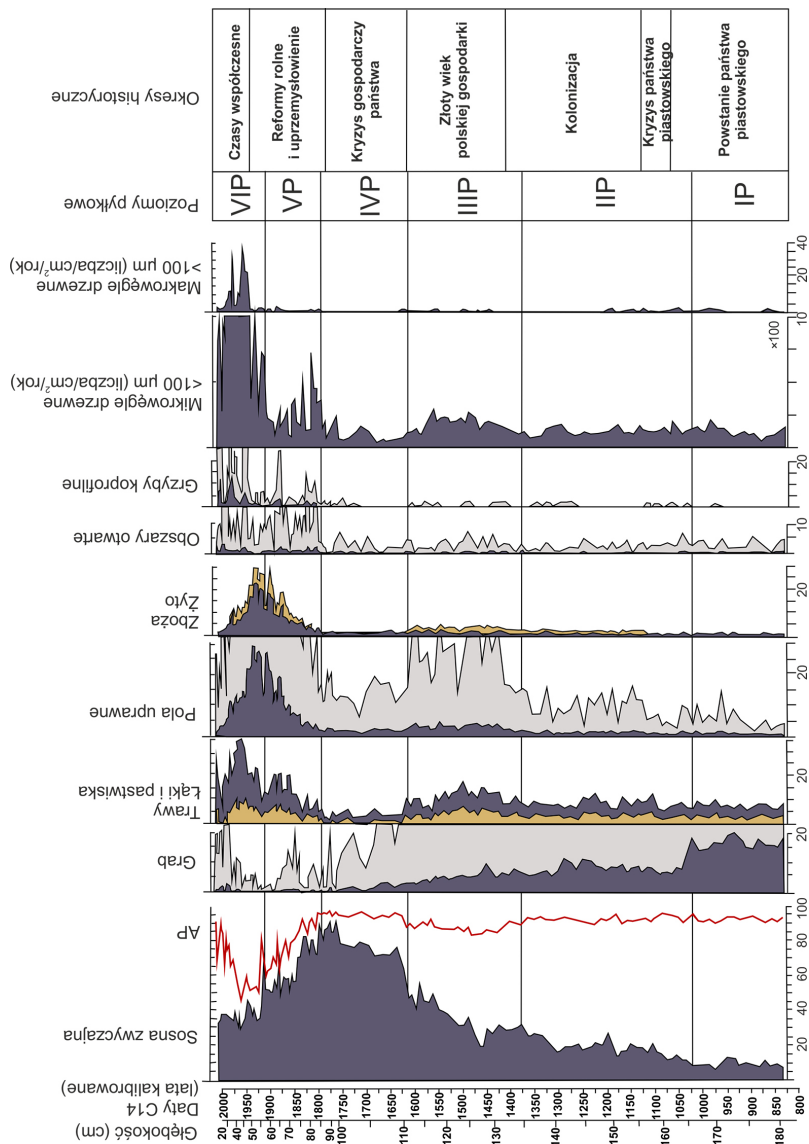
Większy udział materii mineralnej oraz frakcji piaszczystych, grubo- i średnioziarnistych w litofacjach pierwszej i trzeciej może wskazywać na dostawę materii mineralnej po stokach rynny do jeziora w wyniku spłukiwania. Innym źródłem zwiększonej dostawy do jeziora mogły być procesy eoliczne. W obu przypadkach, aby procesy te mogły zachodzić, musiało dojść do pojawienia się w sąsiedztwie jeziora powierzchni pozbawionych roślinności, co należy identyfikować z działalnością człowieka.

## Fazy erozji zapisane w badaniach paleoekologicznych

Z uwagi na wykorzystanie całego pobranego materiału do analiz paleoekologicznych niemożliwe było wykonanie podobnych analiz litologicznych z górnej części profilu. W związku z tym do identyfikacji faz potencjalnych procesów erozyjnych wykorzystano wyniki analiz palinologicznych, wyodrębnionych na ich podstawie wskaźników gospodarczej działalności człowieka, takich jak: relacja drzew do roślin zielnych (AP/NAP), wskaźniki upraw rolnych, wskaźniki otwartego terenu (otwartego krajobrazu), wskaźniki hodowli (np. obecność zarodników grzybów koprofilnych) oraz obecność makro- i mikrowęgielków drzewnych. W badaniach palinologicznych, w których dodatkowo określono zawartość materii mineralnej, a zwłaszcza krzemionki terygenicznej (piasku i pyłu, ilu) wykazywano wielokrotnie ścisłą korelację pomiędzy tymi wskaźnikami a palinologicznymi wskaźnikami działalności człowieka (Behre, 1981; Aaby, 1997; Latałowa, 2007). Źródłem cząsteczek mineralnych w osadach jezior i torfowisk w okresie holocenu były procesy erozyjne związane z naruszeniem pokrywy roślinnej, zwłaszcza leśnej w postaci erozji gleb: wodnej lub eolicznej. W holocenie erozja gleb była w znacznej mierze konsekwencją odlesień antropogenicznych (Latałowa, 2007). Na podstawie diagramów opracowanych przez Czerwińskiego i in. (2021), Karpińskiej-Kołaczek i in. (2022) wybrano wskaźniki gospodarczej działalności człowieka będące zapisem działalności antropogenicznej najpierw w sąsiedztwie jeziora, a później torfowiska, w które przekształcił się zbiornik jeziorny (ok. 1550–1600 lat kalibrowanych) (ryc. 3).

Ze względu na opracowanie modelu wiek/głębokość górnej części profilu możliwe jest określenie ram czasowych przemian środowiska. Na podstawie sporządzonych diagramów autorzy wyróżnili 6 faz zmian środowiskowych. W fazie IP obejmującej przedział czasowy  $840 \pm 40$ – $1035 \pm 20$  lat pojawiają się pierwsze oznaki upraw w postaci zbóż, pojedyncze węgielki drzewne, a wskaźnik terenów otwartych jest bardzo niski. Obszar badań porośnięty był lasem, a zakres ingerencji człowieka nie naruszał równowagi w ekosystemie. Faza druga ( $1035 \pm 20$ – $1380 \pm 25$ ) rozpoczyna się wyraźnym spadkiem krzywej graba, wskazującej na antropogeniczne odlesienia. Jednak w tym czasie dochodzi do najazdu Brzetysława na grody państwa Polan i w konsekwencji pomiędzy latami  $1045 \pm 5$ – $1120 \pm 25$  widoczny jest regres wskaźników antropogenicznych, a wzrost udziału np. brzozy, która prawdopodobnie wkraczała na otwarte, odlesione wcześniej tereny (Czerwiński i in., 2021). Po tym okresie następuje wzrost wskaźników antropogenicznych: pól uprawnych, łąk i pastwisk. Nieco wzrasta udział roślin zielnych.

Faza IIIP obejmująca lata  $1380 \pm 25$ – $1620 \pm 20$  cechuje się wyraźnym wzrostem otwartości krajobrazu, co wynika ze spadku udziału wielu gatunków liściastych. Wzrasta udział wskaźników upraw do 4%, a roślin ruderalnych do 7%. Przemiany środowiska w otoczeniu stanowiska wskazują na rozwój osadnictwa i związanego z nim rolnictwa. W przedziale czasowym  $1450 \pm 15$ – $1580 \pm 20$  widoczny jest wzrost udziału mikrowęgli drzewnych. W fazie IIIP dochodzi do znaczących zmian w samym zbiorniku jeziornym, który zaczyna ewoluować w kierunku torfowiska. Okres przejściowy między płytkim jeziorem a bogatym torfowiskiem to



Ryc. 3. Wybrane wskaźniki palinologiczne świadczące o przekształcaniach szaty roślinnej i presji antropogenicznej zapisane w torfowisku Kazanie

Źródło: opracowanie własne na podstawie Czerwiński i in. (2021).

Fig. 3. Selected palynological indicators of vegetation cover transformation and anthropogenic pressure recorded in Kazanie peatland



lata  $1520 \pm 20$ – $1580 \pm 20$ . Po tym czasie rozwija się już bogate w różnorodność gatunkową torfowisko. Jako przyczynę tych zmian Karpińska-Kołaczek i in. (2022) oraz Czerwiński i in. (2021) wskazują z jednej strony odlesienia oraz z drugiej strony obniżenie się poziomu wód gruntowych. Znaczny wskaźnik odlesień mógł skutkować wzrostem erozji gleb i dostawami materii mineralnej do zbiornika sedymentacyjnego. Pośrednio *świadczą o tym* wyniki analizy palinologicznej, gdyż w tym poziomie pyłkowym odnotowano znaczną ilość niezidentyfikowanych skorodowanych ziaren pyłku (Czerwiński i in., 2021).

W fazie IVP (lata  $1620 \pm 20$ – $1800 \pm 40$ ) obserwuje się zmianę struktury lasu polegającą na szybkim rozprzestrzenianiu się sosny zwyczajnej, a spadku populacji drzew liściastych, w szczególności grądu. We wszystkich wskaźnikach antropogenicznych widoczne jest osłabienie aktywności człowieka. Gwałtownie spadają wskaźniki pól uprawnych, siedlisk ruderalnych i pastwisk. Znacznie maleją wartości rejestrowanych mikrowęgli drzewnych, z wyjątkiem pojedynczych lat:  $1715 \pm 40$  i  $1770 \pm 45$ . W fazie tej rozpoznano gatunki identyfikowane z dobrze rozwiniętymi torfowiskami na podłożu węglanowym oraz zanik gatunków wodnych – jeziornych.

Analizując wskaźniki antropogeniczne w fazie VP, można zauważyć wzrost antropopresji. Spada krzywa sosny, jednocześnie obserwuje się wzrost taksonów dla pól uprawnych (do 29%), roślin ruderalnych oraz wskaźników terenów otwartych. W fazie tej rejestruje się w analizach systematyczne występowanie zarodników grzybów koprofilnych, wskazujących na rolę hodowli oraz znaczenie łąk i pastwisk. Krzywa zawartości mikrowęgli drzewnych również dynamicznie wzrasta w tej fazie, osiągając maksimum około  $1820 \pm 30$  roku, po czym zaczyna spadać. Obecne są pojedyncze taksony wodne, co może sugerować okresowe zalanie torfowiska wodami wypływającego się jeziora.

Faza VIP obejmuje lata  $1910 \pm 15$ – $2016 \pm 1$ . W analizowanym okresie dochodzi do odnowienia lasów z wyjątkiem sosny. Struktura taksonów drzew może wskazywać na praktyki leśne. Po okresie znaczącego wzrostu upraw (do ok. 30%) następuje ich spadek, a rozwijają się bardziej obszary łąkowe i pastwiskowe (26%), co może wskazywać na znaczenie hodowli kosztem powierzchni upraw, ale również na większą efektywność upraw dzięki nowym technologiom w rolnictwie. Pomiędzy latami  $1950 \pm 5$  a  $1980 \pm 5$  zaobserwowano znaczną liczebność makro- i mikropozostałości węgielków drzewnych, co mogło wynikać z dużej aktywności pożarowej, ale także wykorzystywania gospodarczego drewna. Jednocześnie od roku  $1970 \pm 5$  obserwuje się zmiany struktury taksonów, wskazujące na obniżenie zwierciadła wody na torfowisku (Czerwiński i in., 2021).

## Dyskusja

Na terenie Europy działalność antropogeniczna miała znaczący wpływ na środowisko, przyczyniając się w różnych skalach przestrzennych do przekształceń sieci hydrologicznej, rzeźby terenu i wpływając na przyspieszenie transportu osadów. W czasach współczesnych osiągnęła poziom globalnych zmian środowiska. Wy-

lesienia, a później substytucja w wyniku uprawy roślin przyczyniły się do powstania obszarów otwartych pozbawionych roślinności i podatnych w konsekwencji na erozję. Intensywność procesów erozyjnych warunkowana jest różnymi czynnikami. Należą do nich: podłoże geologiczne, czynniki topograficzne, warunki klimatyczne oraz czynniki agrotechniczne (Goudie, Viles, 2016).

Obszary Polski na długo przed pojawieniem się zorganizowanej państwowości były wykorzystywane w działaniach rolniczych, obejmujących m.in. wylesianie, uprawę, wypas, które na różny sposób skutkowały degradacją gleby (Illicki, 2002; Karliński, 2019). Na terenach leśnych większość koron drzew chroni podłoże przed opadem deszczu, redukując wartości prędkości i energii kinetycznej opadających kropel wody (Goudie, Viles, 2016). Istotną rolę odgrywa również próchnica, która absorbuje siłę uderzenia wody opadowej (Trimble, 1988). Usunięcie bariery drzew nie tylko wystawia glebę na oddziaływanie deszczu, ale wzmaga również ruch wiatrów, które powodują wywiewanie materii organicznej i mineralnej. Na obszarach stałej uprawy ornej podłoże narażone jest na ubicie/ścieśnienie/kompakcję (Goudie, Viles, 2016). Podobnie w sytuacji wypasu zwierząt i prac leśnych (Goutal i in., 2013).

Badane torfowisko Kazanie położone jest w strefie o długim historycznie oddziaływaniu rolniczym. Rynnę glacialną, w której znajduje się torfowisko, od wschodniej strony otaczają rozległe powierzchnie sandrowe współcześnie zalesione, natomiast od zachodniej strony bardziej gliniasta wysoczyzna morenowa w znacznym stopniu wylesiona i użytkowana jako pola uprawne. Różnica wysokości względnej od strony zachodniej wynosi około 8 m, natomiast od strony wschodniej 2–3 m. Na krawędzi rynny po obu stronach nie odnotowano form erozyjno-denudacyjnych, które mogłyby świadczyć o intensywnych procesach spłukiwania i erozji w przeszłości i współcześnie. Innym czynnikiem, które wpływał na obieg materii, jest roślinność brzegowa, która szczególnie w fazie jeziornej mogła skutecznie zatrzymywać materiał mineralny i uniemożliwiać jego dalszy transport w głąb zbiornika. Z tym ostatnim wymienionym elementem wiąże się także lokalizacja torfowiska w rynnach, które położone jest w jej strefie środkowej, co ogranicza możliwości rejestracji dostawy składników mineralnych do warstw osadów analizowanych podczas badań.

Zamiana powierzchni leśnych na pola sprzyja natomiast allochtonicznemu transportowi materiału eolicznego do zbiorników. Podobne sytuacje potwierdzają liczne badania, których autorzy wiążą obecność części mineralnych w osadach jeziornych i bagiennych z działalnością człowieka w sąsiedztwie (Kloss, Żurek, 2010; Rydelek, 2011; Twardy, Forysiak, 2016; Kittel i in., 2020). W profilu pobranym na torfowisku wydzielona pierwsza litofacja cechuje się większymi domieszkami mineralnymi (drobnopiaszczystymi z domieszką piasku średniego) w części profilu opracowanego sedymentologicznie. Dostawa mineralna może wskazywać na działalność człowieka. Ze względu na brak datowań radiowęglowych dla tej części profilu wiek tej fazy można jedynie określić szacunkowo na podstawie przedłużenia krzywej modelu wiek-głębokość przy założeniu utrzymującego się tempa sedymentacji. Oszacowany wiek dla pierwszej litofacji odpowiadałby okresowi wpływów rzymskich. Badania archeologiczne obejmujące okres wpływów

rzymskich wskazują na intensywne zasiedlenie badanego obszaru przez kulturę wielbarską, która reprezentowana jest przez osady oraz cmentarzyska. Teren południowej części Pojezierza Gnieźnieńskiego oraz północnej części Równiny Wrzesińskiej wyznacza południowy zasięg tej kultury (Woińska, 2018). Również w regionie Pojezierza Gnieźnieńskiego odnotowano ślady osadnictwa kultury przeworskiej (Woźny, 2001; Kaczmarek, 2013). Wyrąb lasów na potrzeby wytopu żelaza oraz rolnictwa powiększał obszary otwartych terenów podatnych na erozję gleb.

W drugiej litofacji warunki środowiskowe zapisane w osadach jeziornych wskazują na stabilizację. Udział domieszek mineralnych jest mniejszy i utrzymuje się na podobnym poziomie. Według estymowanej krzywej wiek–głębokość czasowo faza ta odpowiada okresowi wędrówek ludów, który na obszarze Polski w badaniach archeologicznych opisywany jest jako okres spadku osadnictwa i wydłużania się terenów Polski (Kaczanowski, 2005).

Trzecia litofacja charakteryzuje się ponownie większym spiaszczeniem, zwłaszcza w dolnej części. Próbką stropową w tej litofacji składającą się wyłącznie z frakcji piaszczystej, z uwagi na znaczne prawdopodobieństwo jej zanieczyszczenia przy poborze rdzenia, została wyłączona z dalszej interpretacji. Ponownie nieco większe domieszki mineralne w tej części profilu prawdopodobnie należy powiązać z początkiem wczesnego średniowiecza, którego dalszą część uchwyciono w badaniach palinologicznych (Czerwiński in., 2021).

Badania paleoekologiczne, głównie palinologiczne, oraz szczegółowa chronologia opracowana dla górnej części profilu umożliwiły korelację widocznych w diagramach palinologicznych przemian środowiska z wydarzeniami historycznymi w badanym regionie (Czerwiński i in., 2021; Karpińska-Kołaczek i in., 2022). W tej części profilu wskaźniki antropogeniczne, takie jak: otwartość krajobrazu, udział pól uprawnych, udział zbóż, roślin ruderalnych czy spadki udziału drzew oraz obserwowany wzrost erozji pyłków w niektórych próbkach, wskazują ze znacznym prawdopodobieństwem na wzrost erozji gleb, która rozpoznawana jest w wielu torfowiskach w postaci akumulacji frakcji mineralnych w Polsce (Smolska, Szwarzewski, 2009; Borówka i in., 2015; Pietruczuk, 2016; Twardy i in., 2018) i na świecie (Vuorella, 1977; Fredskild, 1992; Miettinen i in., 2005; Taylor i in., 2013; Heckmann i in., 2014).

Na podstawie analizy pyłkowej wydzielono sześć poziomów (faz) pyłkowych. W poziomach I, II, III i V odnotowano wzrastający udział wskaźników antropogenicznych. Wskazują one na postępujące zasiedlenie obszaru oraz presję gospodarczą. W fazie I ( $840 \pm 40 - 1035 \pm 20$  lat) zapisane zostały oznaki antropopresji z okresu formowania się oraz rozwoju plemion zachodniosłowiańskich i do ich zjednoczenia w państwo Polan. Nieznaczny wzrost udziału pól uprawnych można zaobserwować w czasie bezpośrednio po chrystianizacji państwa Polan, z czym wiązać należy rozwój handlu i nowych technik rolniczych, będących skutkiem wejścia tych terenów do kręgu kultury chrześcijańskiej. W opisywanym okresie wskaźniki antropogeniczne, a w związku z tym udział procesów erozyjnych zaznaczają się słabo, biorąc pod uwagę bliskie sąsiedztwo z kształtującym się ośrodkiem lednickim.

W fazie II ( $1035 \pm 20$ – $1380 \pm 25$ ), z wyjątkiem początkowego etapu, można zaobserwować ponowny wzrost antropopresji. Wiąże się to z okresem rozbicia dzielnicowego, podczas którego nastąpił rozwój pierwszych miast oraz rozwijana była polityka kolonizacyjna niezasielonych dotąd terenów. Faza III ( $1380 \pm 25$ – $1620 \pm 20$ ) pokrywa się z początkiem panowania Jagiellonów na tronie polskim. Nastąpił wówczas wzrost udziału terenów otwartych, pól uprawnych i pastwisk, co świadczy o wzrastającym znaczeniu wylesiania oraz dynamicznym rozwoju rolnictwa. Wzrost ten wynikał z zapotrzebowania na surowce, spowodowanego licznymi działaniami militarnymi, prowadzonymi przez ówczesnych władców. W tym czasie doszło do wypłykania i zarastania jeziora (Czerwiński i in., 2021). W omawianej fazie wysoki udział mikrowęgielków drzewnych wskazuje na dużą skalę wylesień, co z odnotowanymi licznymi, źle zachowanymi, skorodowanymi ziarnami pyłku w osadach niesie zapis dostawy materii mineralnej do zbiornika. Składniki mineralne, wywiewane z pól uprawnych (choć całkowicie nie można wykluczyć erozji wodnej) i deponowane w zbiorniku wodnym, mogły sprzyjać przekształceniu jeziora w torfowisko. Drugim czynnikiem opisywanych przemian było obniżenie poziomu wody w jeziorze (Karpińska-Kołaczek i in., 2022).

Podczas fazy V badany obszar, po rozbiorach Polski i kongresie wiedeńskim, znalazł się pod zaborem pruskim. Od początku XIX wieku można zaobserwować tendencje wzrostu wskaźników antropopresji. Okres ten w pobranym profilu wyróżnia najwyższa wartość oznaczonych mikrowęgielków drzewnych. Pierwsza oraz druga rewolucja przemysłowa doprowadziły do wzmożonej industrializacji, której efektem było zwiększone zapotrzebowanie na surowce, a kolejne etapy rewolucji agrarnej przyczyniły się do rozwoju technik uprawy. Skutkiem tego było wylesianie w celu pozyskania terenów pod uprawy rolne oraz pozyskania surowca, a także przez większość fazy V zwiększenie powierzchni siedlisk ruderalnych i pastwisk, w celu zwiększania hodowli. Można zatem stwierdzić, że w opisywanym okresie powstały warunki sprzyjające procesom erozyjnym na znacznych powierzchniach.

W fazach IV, VI i początku II odnotowano spadek lub słabszy zapis działalności agrarnej, można zatem przypuszczać, że doszło do ograniczenia erozji gleb. W konsekwencji zmalała dostawa materiału allochtonicznego do torfowiska, zwiększył się udział materii organicznej kosztem materii mineralnej. Wyniki palinologiczne również potwierdzają zmiany w użytkowaniu terenu. Spadek pyłku graba, a wzrost pyłku sosny wskazuje na prace leśne i nasadzenia. Wymienione fazy powiązane są z mniej stabilną sytuacją społeczno-ekonomiczną badanego obszaru. Na początku II fazy pomiędzy latami od  $1045 \pm 25$  do  $1120 \pm 25$  widoczny jest regres wskaźników antropogenicznych, który jest wynikiem najazdu Brzetysława na grody państwa Polan. Początek fazy IV (lata  $1620 \pm 20$ – $1800 \pm 40$ ) pokrywa się czasowo z początkiem wprowadzenia wyborów elekcyjnych w Rzeczpospolitej Obojga Narodów oraz finalnym ukształtowaniem się demokracji szlacheckiej, które zahamowały rozwój gospodarczy Polski. Polityka prowadzona w okresie XVII oraz XVIII wieku przez polskich władców doprowadziła do licznych wojen, a co za tym idzie – wyludniania się kraju oraz jego niszczenia wskutek przemarszu wojsk. Efektem było zmniejszenie się wartości wskaźników antropogenicznych

oraz ponowny wzrost zalesienia. Początek fazy VI (1910±15–2016±1), po rewolucji agrarnej w XIX wieku, charakteryzował się dużą powierzchnią terenów uprawnych. Skutkiem I oraz II wojny światowej było wyludnienie terenów należących dziś do Polski oraz zaniedbanie upraw. Doprowadziło to do spadku zapotrzebowania na żywność oraz przekształcania się pól uprawnych w tereny łąkowe. Utrzymywanie się tendencji rosnącej powierzchni obszarów łąkowych oraz pastwiskowych w powojennej Polsce łączyć można ze stale rozwijającym sektorem hodowlanym, natomiast utrzymywanie się tendencji spadkowej ilości terenów rolnych – z wprowadzaniem nowszych, coraz bardziej efektywnych technologii upraw (Czerwiński i in., 2021). Wzrost powierzchni leśnych oraz zadarnionych, trawiastych mógł wpłynąć na znaczne ograniczenie procesów erozyjnych.

## **Wnioski**

Torfowisko Kazanie, zlokalizowane w rynn timer glacialnej, w północnej części Równiny Wrzesińskiej, zachowało w osadach zapis działalności człowieka w jego otoczeniu. Badania palinologiczne górnej części profilu pozwoliły na wydzielenie wyraźnych faz użytkowania terenu w nawiązaniu do historii jego zasiedlenia i zagospodarowania, odpowiadających etapom historycznego rozwoju Wielkopolski. Dolna część profilu przebadana pod kątem litologicznym umożliwiła odtworzenie środowiska sedymentacyjnego. Wyniki badań wskazują, że w litofacjach mineralno-organicznych tej części profilu można zauważyć większą aktywność człowieka na badanym obszarze. Wydzielono trzy litofacje: dwie mineralno-organiczne (pierwsza i trzecia) i jedną organiczno-mineralną (druga). Ze względu na brak datowań niemożliwe jest precyzyjne wskazanie historycznego kontekstu tworzenia się osadów, natomiast wykorzystując ustalenia chronologii górnej części profilu, można z pewnym prawdopodobieństwem wskazać, że pierwszy zidentyfikowany etap dostawy mineralnej do zbiornika jeziornego miał miejsce w okresie wpływów rzymskich i wynikał z obecności kultury wielbarskiej oraz przeworskiej, gdyż teren badań znajdował się w strefie oddziaływania obu kultur. Natomiast większe udziały materii mineralnej w trzeciej litofacji mogą być oznaką zasiedlenia terenów w okresie wczesnego średniowiecza. Drugą litofację o charakterze bardziej organicznym i niewielkiej dostawie mineralnej do torfowiska można powiązać z okresem wędrowek ludów, który charakteryzował się, według danych archeologicznych, małym zasiedleniem badanego regionu.

Palinofacje I, II, III i V z górnej części badanego profilu odznaczają się wzrastającą antropopresją. Na podstawie wskaźników: otwartości krajobrazu, pól uprawnych, udziału zbóż, a przede wszystkim mikrowęgielków drzewnych można stwierdzić, że w okresach tych możliwa była dostawa większej ilości materiału eolicznego do torfowiska na skutek erozji gleb pobliskich pól uprawnych. Fazy IV i VI odznaczały się spadkiem antropopresji, spowodowanej zarówno niekorzystnymi warunkami klimatycznymi, jak i wydarzeniami historycznymi, przyczyniającymi się do spadku zaludnienia, co w konsekwencji obniżało presję człowieka na otaczające środowisko (faza IV). W fazie VI obejmującej czasy współczesne



zaznaczają się spadki wskaźników antropogenicznych i wzrost lesistości obszaru. Dane te wskazują na bardziej zrównoważone, racjonalne gospodarowanie zasobami środowiska oraz na stosowanie technik i innowacji w rolnictwie wpływających na jego efektywność.

## Podziękowania

Składamy podziękowania mgr. Samborowi Czerwińskiemu za udostępnienie próbek z profilu pobranego na torfowisku Kazanie do badań sedymentologicznych oraz prof. UAM dr hab. Iwonie Hildebrandt-Radke za opiekę naukową nad pracą.

## Literatura

- Aaby B., 1997, Mineral dust and pollen as traces of agricultural activities, *Pact*, 52: 115–122.
- Alexandrowicz S.W., Florek W., Zaborowska K., Zachowicz J., 1989, The Stupia upper floodplain in the vicinity of Słupsk, Pomerania, Poland, *Quaestiones Geographicae*, 11(12): 5–27.
- Behre K.E., 1981, The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams, *Pollen Spores*, 23(2): 225–245.
- Blott S.J., Pye K., 2001, Gradistat: A Grain Size Distribution and Statistic Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments, *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1237–1248.
- Borówka R.K., Tomkowiak J., Okupny D., Forysiak J., 2015, Skład chemiczny osadów bagiennych z doliny Luciąży (torfowisko Bęczkowice na Równinie Piotrkowskiej), *Folia Quaternaria*, 83: 25–44.
- Czerwiński S., Guzowski P., Karpińska-Kołaczek M., Lamentowicz M., Gałka M., Kołaczek P., Izdebski A., Poniak R., 2019, Znaczenie wspólnych badań historycznych i paleoekologicznych nad wpływem człowieka na środowisko. Przykład ze stanowiska Kazanie we wschodniej Wielkopolsce, *Studia Geohistorica*, 7: 56–74.
- Czerwiński S., Guzowski P., Lamentowicz M., Gałka M., Karpińska-Kołaczek M., Poniak R., Łokas E., Diaconu A.-C., Schwarzer J., Miecznik M., Kołaczek P., 2021, Environmental implications of past socioeconomic events in Greater Poland during the last 1200 years. Synthesis of paleoecological and historical data, *Quaternary Science Reviews*, 259.
- Dembek W., Oświt J., 1992, Rozpoznanie warunków hydrologicznego zasilania siedlisk mokradłowych, [w:] *Hydrogeniczne siedliska wilgotnościowe*, Biblioteka Wiadomości IMUZ, 79: 15–38.
- Folk R.L., Ward W.C., 1957, A Study in the Significance of Grain-Size Parameters, *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3–26.
- Forysiak J., 2013, Jeziorna przeszłość torfowisk regionu łódzkiego, *Acta Universitatis Lodziensis, Folia Geographica Physica*, 12(12): 3–15.
- Fredskild B., 1992, Erosion and vegetational changes in South Greenland caused by agriculture, *Geografisk Tidsskrift – Danish Journal of Geography*, 92(1): 14–21.
- French J., 2006, Tidal marsh sedimentation and resilience to environmental change: Exploratory modelling of tidal, sea-level and sediment supply forcing in predominantly allochthonous systems, *Marine Geology*, 235(1–4): 119–136.

- Goudie A.S., Viles H.A., 2016, Geomorphology in the Anthropocene, University of Oxford.
- Goutal N., Keller T., Défossez P., Ranger J., 2013, Soil compaction due to heavy forest traffic: measurements and simulations using an analytical soil compaction model, *Annals of Forest Science*, 70: 545–556.
- Heckmann M., Muiruri V., Boom A., Marchant R., 2014, Human–environment interactions in an agricultural landscape: A 1400-yr sediment and pollen record from North Pare, NE Tanzania, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 406: 49–61.
- Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G., 2001, Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results, *Journal of Paleolimnology*, 25: 101–110.
- Ilnicki P., 2002, *Torfowiska i torf*, Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego, Poznań.
- Kaczanowski P., 2005, Przemiany osadnicze na ziemiach Polskich u schyłku starożytności, [w:] P. Kaczanowski, M. Parczewski (red.), *Archeologia o początkach Słowian*, Instytut Archeologii Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Kaczmarek Ł., 2013, Osada wielokulturowa w Dziekanowicach stan. 21 (AZP 50–32/98), pow. Gniezno, woj. wielkopolskie, *Studia Lednickie*, 12: 97–125.
- Karliński L., 2019, Torfowiska – zagrożenie i ochrona, *Aura*, 10: 6–10.
- Karpińska-Kołaczek M., Kołaczek P., Czerwiński S., Gałka M., Guzowski P., Lamentowicz M., 2022, Anthropocene history of rich fen acidification in W Poland – Causes and indicators of change, *Science of the Total Environment*, 838(1).
- Kittel P., Mazurkevich A., Aleksandrovskiy A., Dolbunova E., Krupski M., Szymańda J., Stachowicz-Rybka R., Cywa K., Mroczkowska A., Okupny D., 2020, Lacustrine, fluvial and slope deposits in the wetland shore area in Serteya, Western Russia, *Acta Geographica Lodzensia*, 110: 103–125.
- Kloss M., Żurek S., 2010, Osady torfowiska Żabieniec i ich paleobotaniczna wymowa, [w:] J. Twardy, S. Żurek, J. Forsyś (red.), *Torfowisko Żabieniec: warunki naturalne, rozwój i zapis zmian paleoekologicznych w jego osadach*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Latałowa M., 2007, Gospodarka człowieka w diagramach pyłkowych. *Studia interdyscyplinarne nad środowiskiem i kultura w Polsce, Środowisko–Człowiek–Cywilizacja*, 1: 171–187.
- Macias A., Bródka S., Kubacka M., Piniarski W., 2021, Równina Wrzesińska, [w:] A. Macias, S. Bródka (red.), *Regiony fizycznogeograficzne województwa wielkopolskiego*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Majewski M., 2008, Ewolucja form i osadów stokowych w późnym wistulianie i holocenie w rynnie jeziora Jasiień, *Landform Analysis*, 7: 95–101.
- Markowski S., 1980, Struktura i właściwości podtorfowych osadów jeziornych rozprze-strzenionych na Pomorzu Zachodnim jako podstawa ich rozpoznawania i klasyfikacji, *Kreda Jeziorna i Gytie*, 2: 44–55.
- Marks L., 2012, Timing of the late wistulian (weichselian) glacial phases in Poland, *Quaternary Science Reviews*, 44: 81–88.
- Micun K., 2014, Rola zagłębień bezodpływowych jako lokalnych zbiorników sedymentacyjnych w krajobrazie młodoglacjalnym Suwalskiego Parku Krajobrazowego, *Inżynieria Ekologiczna*, 40: 196–207.
- Miętkiewicz M., Sydow S., 1999, Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000. Arkusz Pobiedziska (473), Państwowy Instytut Geologiczny.
- Miettinen J.O., Simola H., Grönlund E., Lahtinen J., Niinistö R., 2005, Limnological effects of growth and cessation of agricultural land use in Ladoga Karelia: sedimentary pollen and diatom analyses, *Journal of Paleolimnology*, 34(2): 229–243.

- Myślińska E., 2001, Grunty organiczne i laboratoryjne metody ich badania, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Okruszko H., 1983, Ochrona torfowisk, Wydawnictwo Sigma, Warszawa.
- Okupny D., Borówka R., Fortuniak A., Tomkowiak J., 2014, Skład chemiczny osadów organicznych ze stanowiska Koźmin Las, *Acta Geographica Lodziensia*, 102: 71–86.
- Pietruczuk J., 2016, Budowa geologiczna i ewolucja torfowiska węglanowego Bagno Staw w Poleskim Parku Narodowym, *Acta Geographica Lodziensia*, 105: 39–53.
- Rydelek P., 2011, Torfowiska niskie Wysoczyzny Lubartowskiej jako potencjalne naturalne bariery geologiczne, *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 446(2): 407–416.
- Smolska E., Szwarczewski P., 2009, Środowiskowe uwarunkowania rozwoju osadnictwa w Polsce północno-wschodniej i jego geomorfologiczne konsekwencje. *Zapis działalności człowieka w środowisku przyrodniczym, Środowisko i Kultura*, 6, 107.
- Taylor Z.P., Horn S.P., Finkelstein D.B., 2013, Maize pollen concentrations in Neotropical lake sediments as an indicator of the scale of prehistoric agriculture, *The Holocene*, 23(1): 78–84.
- Tobolski K., 1998, Stan poznania historii lasów, jezior i torfowisk Borów Tucholskich, [w:] J. Banaszak, K. Tobolski (red.), *Park Narodowy Bory Tucholskie, Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Bydgoszczy*, s. 19–48.
- Tobolski K., 2004, Kryterium geologiczne w badaniach zbiorników akumulacji biogenicznej, *Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, 5: 119–126.
- Trimble S.W., 1988, The impact of organisms on overall erosion rates within catchments in temperate regions, [w:] H.A. Viles (red.), *Biogeomorphology*, Basil Blackwell, Oxford, s. 83–142.
- Twardy J., Forysiak J., 2016, Zapis holocenijskich procesów eolicznych w osadach wybranych jezior kopalnych i torfowisk Centralnej Polski, *Acta Geographica Lodzienia*, 105: 125–140.
- Twardy J., Forysiak J., Kittel P., 2018, Okresy wzmożonej antropopresji na obszarze polski środkowej w świetle badań holocenijskich osadów eolicznych, stokowych, rzecznych i torfowiskowych, *Acta Geographica Lodzienia*, 107: 119–136.
- Vuorella I., 1977, Pollen grains indicating culture in peat, mud and till, *Grana*, 16(3): 211–214.
- Wardenaar E.C.P., 1987, A new hand tool for cutting peat profiles, *Canadian Journal of Botany*, 65: 1772–1773.
- Woińska M., 2018, Ślady produkcji żelaza na obszarze osadnictwa kultury wielbarskiej, *Wiadomości Archeologiczne*, 69(69): 3–24.
- Woźny J., 2001, Relacje kulturowe na pograniczu kujawsko-pomorskim w epoce brązu i początkach epoki żelaza.
- Żurek S., 1984, Verteilung und Charakter europäischer Moore, *Telma*, 14: 113–125
- Żurek S., 2010, Metody badań osadów bagiennych, *Landform Analysis*, 12: 137–148.
- Żurek S., Tomaszewicz H., 1989, Badanie bagien, [w:] M. Gutry-Korycka, H. Werner-Więcowska (red.), *Przewodnik do hydrograficznych badań terenowych*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, s. 190–210.

## Anthropogenic activity and the phases of erosion-denudation processes in the Kazanie peatland (Września Plain)

**Abstract:** The publication discusses the results of paleoecological and lithological studies in the Kazanie peat bog area, as well as their paleoenvironmental interpretations. The aim of the research was to determine how prehistoric and historical human activity influenced



the development of erosional processes in the studied region and whether these processes were recorded in lake and peat bog sediments. The upper part of the profile was investigated with the help of paleoecological analyses, primarily palynological, and dated using the AMS  $^{14}\text{C}$  method. The lower part of the profile was analysed by lithological methods using laser diffraction and the Loss on Ignition (LOI) method. The potential contribution of erosional processes, especially soil erosion in the upper part of the profile was interpreted on the basis of anthropogenic indicators obtained from pollen analysis and correlated with the main stages of historical transformation of the research area. On the basis of the study of this part of the profile the increasing, towards the ceiling, anthropogenization of the area was stated. The process reached its greatest scale in the 20th century. At the end of the 20th century, anthropogenic activity decreased. In the lower part of the profile the profile was divided into three lithofacies: two mineral-organic (the first and third) and one organic-mineral (the second). It was found that the first lithofacies probably formed during the Roman Period and was the result of settlement and economic activity of the Wielbark and Przeworsk cultures. The third lithofacies, with the largest supply of mineral matter, can be related to the early medieval period. The second lithofacies, characterized by a more organic nature, can be associated with the period of migration of peoples.

**Keywords:** anthropopressure, paleoecology, palynology, grain size analysis, Kazanie bog, Września Plain



*Adam Szczapiński, Kinga Bojkowska, Dawid Kozar,  
Stanisław Lewko, Anna Stasiewicz*

**Sekcja Meteorologii  
Studenckiego Koła Naukowego Geografów  
im. Stanisława Pawłowskiego UAM w Poznaniu**

## **Ostrzeżenia meteorologiczne w wybranych polskich miastach w 2021 roku**

**Zarys treści:** Jako cel pracy postawiono porównanie długości trwania i rodzajów ostrzeżeń meteorologicznych wydawanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy dla pięciu wybranych polskich stacji w 2021 roku. Za pomocą metod statystycznych przeanalizowano ostrzeżenia wydane dla Gdańska, Katowic, Poznania, Rzeszowa i Torunia. Dla każdego miasta – oprócz Poznania – miesiącami, w których alerty obowiązywały najdłużej, były lipiec i luty. W Poznaniu te miesiące to czerwiec i styczeń. Latem najczęściej ostrzegano przed upałami oraz burzami z gradem. Z kolei zimą ostrzeżenia były często zróżnicowane, ale przeważnie dotyczyły oblodzenia, intensywnych opadów śniegu i silnych mrozów. W miesiącach wiosennych ostrzeżenia bardzo często odnosiły się do przymrozków, a jesienią – silnego wiatru. Łączna roczna długość obowiązywania ostrzeżeń meteorologicznych była najwyższa dla Rzeszowa, a najniższa dla Poznania.

**Słowa kluczowe:** ostrzeżenia meteorologiczne, ekstremalne zjawiska pogodowe, meteorologia synoptyczna, klimat Polski

### **Wstęp**

Pomimo że w Polsce, w porównaniu do wielu innych państw świata, ekstremalne zjawiska pogodowe zdarzają się relatywnie rzadziej oraz mają z reguły mniejszą intensywność, to przypadki ich występowania są odnotowywane każdego roku z wyższą bądź niższą częstością (McGregor i in., 2005; De Sario i in., 2013). Każde z takich zjawisk powoduje ryzyko wystąpienia strat gospodarczych (Beillouin i in., 2018), niebezpieczeństwa dla zdrowia i życia ludzi (Kovats, 2006) oraz potencjalne klęski w środowisku przyrodniczym (Santamouris, Kolokot-

sa, 2015). Według „Atlasu zagrożeń meteorologicznych Polski” (Ustrnul i in., 2014) groźne zjawiska pogodowe można podzielić m.in. na termiczne (upał, silny mróz), intensywne opady atmosferyczne, szadź, gołoledź, burze z gradem, mgły, silne wiatry czy pokrywą śnieżną. Przykładami szczególnie niebezpiecznych dla zdrowia i życia mieszkańców zjawisk meteorologicznych, na które jest narażony obszar Polski, są te związane z występowaniem bardzo wysokiej (Wibig, 2018; Tomczyk, Bednorz, 2020) lub niskiej (Wibig i in., 2009; Tomczyk i in., 2018) temperatury powietrza. Panujące wtedy silnie niekorzystne warunki biometeorologiczne (Pótrolniczak i in., 2007; Kuchcik, Degórski, 2009) wpływają na stan zdrowia ludzi, zwiększając ryzyko udarów, zawałów i odwodnienia w przypadku fal upałów (Worfolk, 2000; Kenney i in., 2014) oraz wychłodzenia organizmu, a nawet odmrożenia części ciała podczas silnych mrozów (Fudge, 2016). Innego rodzaju groźnymi zjawiskami pogodowymi są te związane z konwekcją: intensywne opady deszczu (Rodzik i in., 2009; Pińskwar i in., 2019) oraz burze (Bielec-Bąkowska, 2003), w tym te z gradem o dużej średnicy (Taszarek, Suwała, 2015). Wysokie sumy opadowe mogą doprowadzić do niebezpiecznych zjawisk hydrologicznych; ich przykładem są powodzie z 1997 oraz 2010 roku, które narażyły Polskę na ogromne straty ekonomiczne i spowodowały śmierć lub uszczerbek na zdrowiu wielu osób (Kundzewicz i in., 1999; Bissoli i in., 2011). Destrukcyjne mogą być także silne wiatry, czego przykładem jest nawałnica z sierpnia 2017 roku związana z układem *derecho* (Chmielewski i in., 2020). Z kolei niektóre zjawiska pogodowe, takie jak gołoledź i gęste mgły, przyczyniają się do zwiększenia liczby wypadków na drogach samochodowych (Malin i in., 2019).

Każde z tych zjawisk w szczególności dla siebie sposób sprawia pewne niebezpieczeństwo i dlatego tak ważne są próby przewidzenia jego wystąpienia oraz wydawanie ostrzeżeń meteorologicznych, które mogłyby przygotować społeczeństwo na zagrożenie z nim związane. W Polsce jedną z najważniejszych instytucji, która wydaje ostrzeżenia meteorologiczne, jest Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Publiczny Instytut Badawczy (IMGW – PIB). Na podstawie danych zebranych ze stacji meteorologicznych oraz ich analizy IMGW – PIB wydaje ostrzeżenia przed odpowiednimi zjawiskami pogodowymi dla poszczególnych powiatów we wszystkich szesnastu województwach, obowiązujące przez pewien okres, uwzględniające również stopień zagrożenia w 3-stopniowej skali (IMGW, 2023).

Celem pracy jest porównanie długości trwania i rodzaju wydanych ostrzeżeń dla wybranych pięciu stacji na terenie Polski (Gdańsk, Katowice, Poznań, Rzeszów, Toruń) w 2021 roku. Hipoteza badawcza zakłada, że poszczególne stacje w zależności od ich położenia geograficznego mogą być narażone na poszczególne zjawiska częściej lub rzadziej, co powinno znaleźć odzwierciedlenie w długości oraz rodzajach wydawanych przez IMGW-PIB ostrzeżeń meteorologicznych.

## Dane i metody badań

Do analizy ostrzeżeń meteorologicznych w 2021 roku wykorzystano archiwalne dane synoptyczne Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowe-

go Instytutu Badawczego (IMGW – PIB). Analiza obejmuje 5 wybranych miast: Gdańsk, Katowice, Poznań, Rzeszów oraz Toruń. Dane statystyczne zostały opracowane przy użyciu programu Microsoft Excel oraz RStudio.

Pierwszy etap badania polegał na stworzeniu za pomocą programu Microsoft Excel bazy danych na podstawie archiwalnych ostrzeżeń meteorologicznych oraz weryfikacji zasięgu wydawanych komunikatów. Zapisywano ostrzeżenia wydane

Tabela 1. Kryteria ostrzeżeń meteorologicznych wydawanych przez IMGW – PIB dla pierwszego (najniższego) stopnia zagrożenia

Table 1. Criteria for meteorological warnings issued by IMGW – PIB for the first (lowest) degree of threat

Zjawisko	Kryteria
Burze/burze z gradem	burze z opadami deszczu (R): $20 \text{ mm} < R \leq 30 \text{ mm}$ możliwe opady deszczu do 40 mm w okresie trwania zjawisk burzowych i/lub: porywy wiatru (V): $72 \text{ km/h} < V \leq 90 \text{ km/h}$ (tj. $20 \text{ m/s} < V \leq 25 \text{ m/s}$ ) lub: grad, jeśli jest prognozowany*
Gęsta mgła	mgła ograniczająca widzialność (VV): $50 \text{ m} < VV \leq 200 \text{ m}$ utrzymująca się przynajmniej 8 godz.
Intensywne opady deszczu	wystąpienie opadów (R): $30 \text{ mm} \leq R < 50 \text{ mm}$ w czasie 24 godz.
Intensywne opady śniegu	przyrost pokrywy śnieżnej (E) od 10 cm do 15 cm w czasie nie dłuższym niż 12 godz. $10 \text{ cm} \leq E < 15 \text{ cm}$ lub: przyrost pokrywy śnieżnej od 15 cm do 20 cm w czasie nie dłuższym niż 24 godz. $15 \text{ cm} \leq E \leq 20 \text{ cm}$
Mgła intensywnie osadzająca szadź	mgła intensywnie osadzająca szadź $50 \text{ m} < VV \leq 200 \text{ m}$ utrzymująca się powyżej 8 godz.
Oblodzenia	spadek temperatury powietrza $< 0^\circ\text{C}$ przy powierzchni gruntu powodujący zamarzanie mokrej nawierzchni po opadach deszczu, deszczu ze śniegiem lub mokrego śniegu
Opady marznące	słabe opady marznącego deszczu lub mżawki, trwające w tym samym miejscu nie dłużej niż 12 godz.
Opady śniegu	przyrost pokrywy śnieżnej (E) poza sezonem zimowym o 5 cm do 10 cm w czasie nie dłuższym niż 12 godz. $5 \text{ cm} \leq E < 10 \text{ cm}$ lub: przyrost pokrywy śnieżnej poza sezonem zimowym o 10 cm do 15 cm w czasie nie dłuższym niż 24 godz. $10 \text{ cm} \leq E < 15 \text{ cm}$

Zjawisko	Kryteria
Przymrozki	zmiana temperatury powietrza na wysokości 2 m z dodatniej na ujemną w okresie wiosennej wegetacji, gdy zaistnieją łącznie następujące warunki: a) temperatura minimalna na wysokości 2 m: $T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$ b) średnia temperatura dobowa: $T_s > 0^{\circ}\text{C}$ dodatkowo w okresie od 1 maja, gdy przewiduje się spadek temperatury przy gruncie $< -1^{\circ}\text{C}$ , przy dodatniej temperaturze powietrza
Roztopy	na obszarach zalegania pokrywy śnieżnej o grubości nie mniejszej niż 10 cm wzrost temperatury powietrza z ujemnej na dodatnią, powodujący topnienie śniegu, gdy zaistnieją łącznie następujące warunki: a) przez dwie doby dodatnia temperatura powietrza na wys. 2 m n.p.g.: $T > 0^{\circ}\text{C}$ b) temperatura średnia dobowa: $T_s \geq 5^{\circ}\text{C}$ c) bez opadów d) na południu kraju brak wiatru fenowego lub: a) przez dwie doby dodatnia temperatura powietrza na wys. 2 m n.p.g.: $T > 0^{\circ}\text{C}$ b) temperatura średnia dobowa: $T_s \geq 1,5^{\circ}\text{C}$ c) opady deszczu: $R \leq 10 \text{ mm}/24 \text{ godz.}$
Silny deszcz z burzami	wystąpienie intensywnych opadów deszczu, którym towarzyszą burze z porywami wiatru powyżej 72 km/h lub burze z gradem łączna suma opadów: $30 \text{ mm} \leq R < 50 \text{ mm}$ w czasie do 24 godz.
Silny mróz	$-25^{\circ}\text{C} \leq T_{min} \leq -15^{\circ}\text{C}$
Silny wiatr	średnia prędkość wiatru: $54 \text{ km/h} < V_{sr} \leq 72 \text{ km/h}$ (tj. $15 \text{ m/s} < V_{sr} \leq 20 \text{ m/s}$ ) lub w porywach: $72 \text{ km/h} < V \leq 90 \text{ km/h}$ (tj. $20 \text{ m/s} < V \leq 25 \text{ m/s}$ )
Upał	$30^{\circ}\text{C} \leq T_{max} \leq 34^{\circ}\text{C}$ i $T_{min} < 18^{\circ}\text{C}$ czas trwania zjawiska $\geq 2$ dni lub: $T_{max} \geq 35^{\circ}\text{C}$ czas trwania zjawiska 1 dzień bez względu na temp. min.
Zawieje/zamiecie śnieżne	zawieje/zamiecie śnieżne, gdy zaistnieją łącznie następujące warunki: a) niestabilna pokrywa suchego śniegu b) wiatr o prędkości: $29 \text{ km/h} \leq V_{sr} \leq 40 \text{ km/h}$ (tj. $8 \text{ m/s} \leq V_{sr} \leq 11 \text{ m/s}$ ) lub: w porywach $54 \text{ km/h} < V \leq 72 \text{ km/h}$ (tj. $15 \text{ m/s} < V \leq 20 \text{ m/s}$ ) c) opady śniegu przy zawiejach śnieżnych

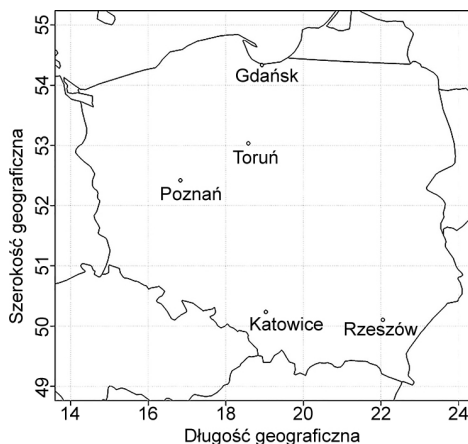
Źródło: <http://aplikacjameteo.imgw.pl/informacje-i-pomoc/ostrezenia/stopnie-ostrezen-i-tresc-komunikatow/>.

dla danego miasta oraz datę początku obowiązywania ostrzeżenia i jego zakończenia (miesiąc, dzień oraz godzina). Umożliwiło to stworzenie zestawienia wydawanych ostrzeżeń meteorologicznych dla roku 2021.

Drugi etap obejmował analizę wyników z zebranych danych za pomocą programu RStudio. Najpierw sporządzono zestawienie dla każdej stacji, ukazujące łączny czas obowiązywania ostrzeżeń meteorologicznych w każdym z miesięcy. Dzięki temu możliwe było określenie zmienności długości trwania wydawanych alertów w ciągu roku. Obliczono również łączną długość trwania wszystkich ostrzeżeń dla każdej stacji, a następnie poszczególnych rodzajów tych ostrzeżeń. Pozwoliło to na porównanie różnych stacji pod kątem długości trwania potencjalnego zagrożenia meteorologicznego w 2021 roku oraz zweryfikowanie, czy dane stacje różniły się pod kątem udziału jakichś szczególnych alertów. Wyniki podano, przeliczając je zarówno na sumę godzin, jak i sumę dni.

Wydawane przez IMGW – PIB ostrzeżenia meteorologiczne dotyczą następujących zjawisk: burze, burze z gradem, gęsta mgła, intensywne opady deszczu, intensywne opady śniegu, mgła intensywnie osadzająca szadź, oblodzenia, opady mrozzące, opady śniegu, przymrozki, roztopy, silny deszcz z burzami, silny mróz, silny wiatr, upał oraz zawieje/zamiecie śnieżne. Kryteria ich wydawania przedstawiono w tabeli 1.

W artykule przeanalizowano 5 stacji znajdujących się na terenie Polski, których lokalizację przedstawiono na rycinie 1. Do analizy wybrano Gdańsk, Katowice, Poznań, Rzeszów i Toruń. Miasta te różnią się od siebie położeniem geograficznym, a zatem także warunkami klimatycznymi, które mogą wpływać na inny profil wydawanych ostrzeżeń meteorologicznych. Są to również duże ośrodki miejskie, które mogą być szczególnie narażone na ekstremalną pogodę, zważywszy na wysoką liczbę ludności oraz rozbudowaną infrastrukturę. Zdecydowano się na wybór 2021 roku do analizy, ponieważ dostępne były dla niego najnowsze, kompletne i przejrzyste dane na temat wydawanych ostrzeżeń meteorologicznych w Polsce. Ponadto był to rok dobrze reprezentujący warunki klimatyczne Polski dla ostatniego 30-lecia klimatycznego (1991–2020), gdyż średnia obszarowa temperatura wyniosła  $8,7^{\circ}\text{C}$ , co czyniło go normalnym termicznie względem tego okresu (IMGW, 2022).



Ryc. 1. Lokalizacja stacji, dla których przeanalizowano ostrzeżenia meteorologiczne

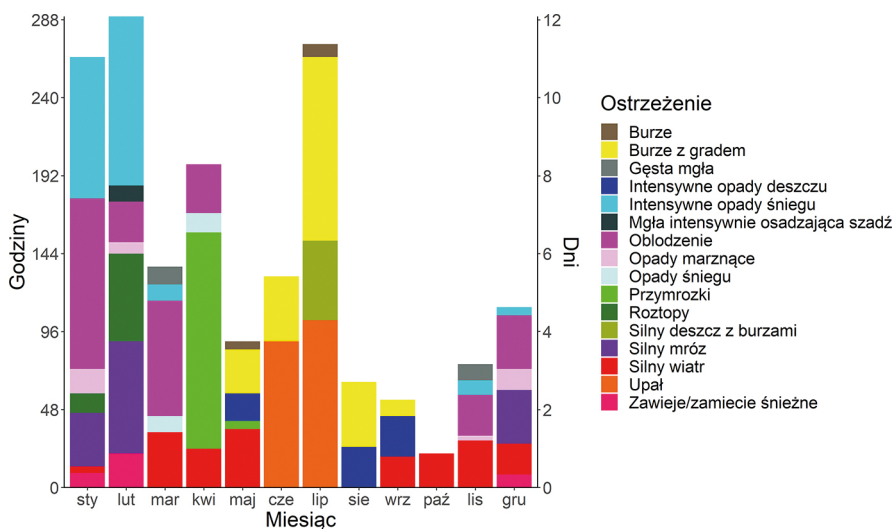
Źródło: opracowanie własne.

Fig. 1. Localization of stations, for which weather warnings have been analyzed

## Wyniki

### Ostrzeżenia meteorologiczne wydane dla Gdańska

W 2021 roku miesiącem, w którym wydano najwięcej godzin ostrzeżeń dla Gdańska, był luty – wydano wtedy ostrzeżenia przed siedmioma różnymi zjawiskami, a łączny czas ich trwania wyniósł 290 godz. (ryc. 2). W październiku wydano najmniej godzin ostrzeżeń – 21 – i wszystkie dotyczyły silnego wiatru. Zjawiskiem, przed którym ostrzegano w prawie każdym miesiącu, był silny wiatr, nie wydano ostrzeżenia przed nim tylko w lutym i w miesiącach letnich. Pomimo niewielkiego udziału ostrzeżeń przed silnym wiatrem w każdym miesiącu (z wyjątkiem października), udział w ogólnym czasie wydanych ostrzeżeń wyniósł ponad 10%, z dokładną liczbą 186 godz. We wszystkich miesiącach zimowych, a także w marcu i listopadzie wydano ostrzeżenia przed intensywnymi opadami śniegu oraz przed oblodzeniem. Łączna liczba godzin ostrzeżeń przed tymi zjawiskami wyniosła kolejno: 215 i 289, co w przypadku drugiej wartości czyni oblodzenie zjawiskiem, przed którym ostrzeżenia trwały najdłużej w ciągu całego roku 2021 dla Gdańska. Drugą największą liczbę godzin ostrzeżeń stanowiły te przed burzami z gradem – łącznie 230 godz., z czego mniej więcej połowa wypadła w lipcu – 113 godz. Lipiec był także drugim miesiącem pod względem łącznej długości trwania ostrzeżeń w Gdańsku. W tym miesiącu oraz w czerwcu obowiązywały też stosunkowo długie ostrzeżenia przed upałami: łącznie trwające 193 godz. Z kolei w kwietniu dość długi był czas obowiązywania ostrzeżeń dla przymrozków: 133 godz.



Ryc. 2. Miesięczna suma długości obowiązywania ostrzeżeń meteorologicznych dla Gdańska w 2021 roku

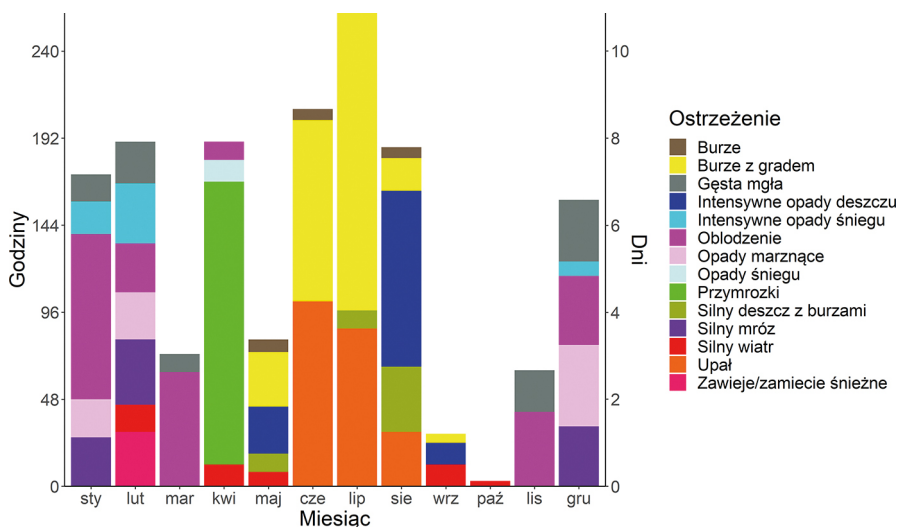
Źródło: opracowanie własne.

Fig. 2. The cumulative monthly duration of the weather warnings for Gdańsk in 2021



## Ostrzeżenia meteorologiczne wydane dla Katowic

Dla Katowic w 2021 roku miesiącem z największą łączną liczbą godzin trwania ostrzeżeń był lipiec – 261 godz., a drugie miejsce pod tym względem zajmował czerwiec z liczbą 208 godz. (ryc. 3). Najkrócej trwały ostrzeżenia w październiku – łącznie 3 godziny – i tak jak w przypadku Gdańska wszystkie dotyczyły silnego wiatru. Najdłużej trwały ostrzeżenia przed burzami z gradem – 317 godz., z czego ponad połowa, podobnie jak dla Gdańska, miała miejsce w lipcu. Dokładnie ostrzeżenia przed burzami z gradem trwały w tym miesiącu 164 godz. Ostrzeżenia przed oblodzeniem wydawano w każdym zimowym miesiącu oraz w marcu, kwietniu i listopadzie, a łącznie ostrzeżenia przed tym zjawiskiem trwały przez 270 godz. W czerwcu, lipcu i sierpniu występowały upały trwające w sumie 219 godz. Sierpień był miesiącem, w którym często pojawiały się ostrzeżenia przed intensywnymi opadami deszczu (97 godz.). W kwietniu przez łącznie 156 godz. obowiązywały ostrzeżenia przed przymrozkami. Od listopada do lutego ostrzegano również przed gęstą mgłą (łącznie 95 godz.).



Ryc. 3. Miesięczna suma długości obowiązywania ostrzeżeń meteorologicznych dla Katowic w 2021 roku

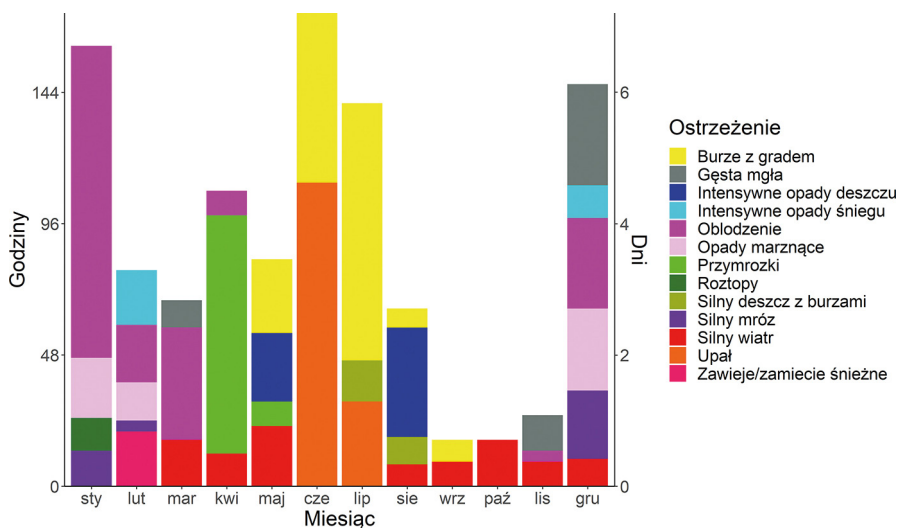
Źródło: opracowanie własne.

Fig. 3. The cumulative monthly duration of the weather warnings for Katowice in 2021

## Ostrzeżenia meteorologiczne wydane dla Poznania

Dla Poznania w 2021 roku najdłużej trwały ostrzeżenia w czerwcu – 173 godz., za to najkrócej we wrześniu i w październiku – po 17 godz. w każdym z miesięcy (ryc. 4). Tak jak w przypadku Gdańska najwięcej godzin ostrzeżeń odnosiło się do oblodzenia, łącznie 222, czyli ponad 20% czasu wszystkich przypadków. Wydawane były od grudnia do kwietnia, a najdłużej trwały w styczniu (114 godz.).

Ostrzeżenia przed burzami z gradem z liczbą 198 godz. zajmowały drugie miejsce pod względem łącznego czasu trwania ostrzeżeń. Wydawano je od maja do września, z czego najdłużej obowiązywały w lipcu (94 godz.). W czerwcu ostrzegano wyjątkowo często przed upałami: alerty obowiązywały przez 111 godz. Spośród ostrzeżeń dla kwietnia wyjątkowo częste były przymrozki: trwały razem 87 godz. W listopadzie i grudniu relatywnie często potencjalnym zagrożeniem meteorologicznym była gęsta mgła (50 godz.).



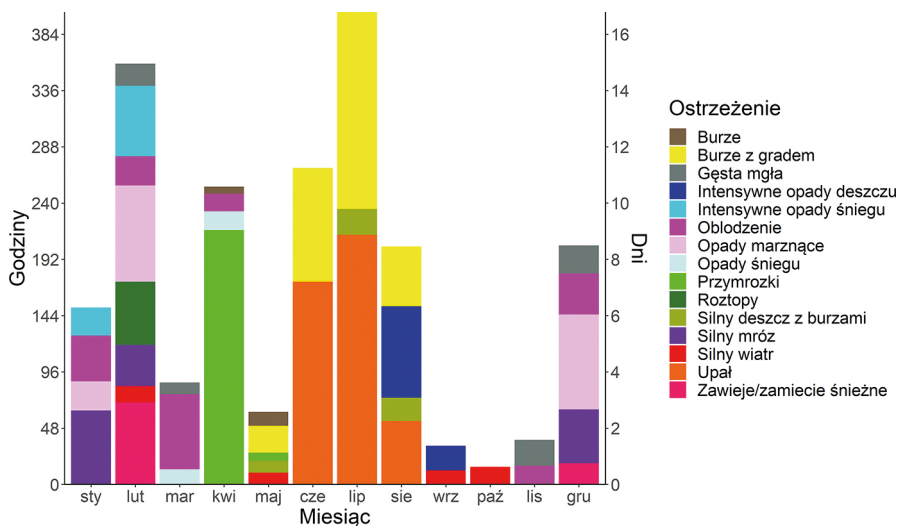
Ryc. 4. Miesięczna suma długości obowiązywania ostrzeżeń meteorologicznych dla Poznania w 2021 roku

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 4. The cumulative monthly duration of the weather warnings for Poznań in 2021

## Ostrzeżenia meteorologiczne wydane dla Rzeszowa

Dla Rzeszowa w 2021 roku najwięcej czasu trwały ostrzeżenia wydane w lipcu – razem 403 godz., najkrócej z kolei w październiku i tak jak w przypadku innych miast, były to ostrzeżenia przed silnym wiatrem (ryc. 5). Drugim miesiącem pod względem łącznej długości trwania wszystkich ostrzeżeń był luty – 359 godz. Ostrzeżenia przed upałem były wydawane tylko w miesiącach letnich, mimo to trwały łącznie najdłużej ze wszystkich – razem 440 godz. Kolejnymi ostrzeżeniami o najdłuższym czasie trwania były ostrzeżenia przed burzami z gradem, które trwały w sumie 339 godz. i wydawane były od maja do sierpnia. Duże zróżnicowanie ostrzeżeń dla Rzeszowa miało miejsce w lutym – w tym miesiącu ostrzeżenia były wydawane przed 8 różnymi zjawiskami, m.in. opadami marznącymi (82 godz.), zawiejami/zamieciami śnieżnymi (70 godz.) i roztopami (54 godz.). W kwietniu aż przez 217 godz. łącznie obowiązywały ostrzeżenia przed przymrozkami.



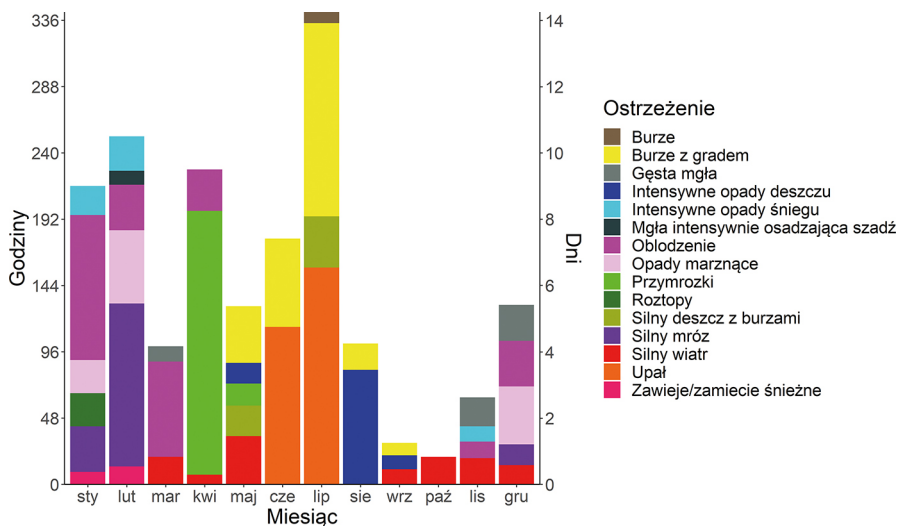
Ryc. 5. Miesięczna suma długości obowiązywania ostrzeżeń meteorologicznych dla Rzeszowa w 2021 roku

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 5. The cumulative month duration of the weather warnings for Rzeszów in 2021

## Ostrzeżenia meteorologiczne wydane dla Torunia

Dla Torunia w 2021 roku miesiącem z najdłuższym czasem trwania wszystkich ostrzeżeń był lipiec – ostrzeżenia trwały łącznie 342 godz., co stanowiło około 19% rocznego czasu obowiązywania ostrzeżeń (ryc. 6). Miesiącem z najkrócej obowiązującymi ostrzeżeniami był, tak jak w przypadku poprzednich miast, październik z sumą 20 godz., z których wszystkie dotyczyły silnego wiatru. Zjawisko, przed którym ostrzeżenia wydawane były najczęściej, to oblodzenie – 282 godz., często ostrzegano także przed burzami z gradem oraz przed upałem – kolejno 273 i 271 godz. Przed burzami z gradem ostrzegano od maja do września, natomiast przed upałami w czerwcu i lipcu. Ostrzeżenia przed silnym wiatrem występowały w największej liczbie miesięcy – wydano je w 7 miesiącach w tym roku. W lutym dość często wydawano ostrzeżenia przed silnym mrozem (118 godz. czasu trwania). W styczniu i marcu największy udział miało oblodzenie (105 i 69 godzin), a w kwietniu zdecydowanie dominowały ostrzeżenia przed przymrozkami, których łączny czas obowiązywania to 191 godz.



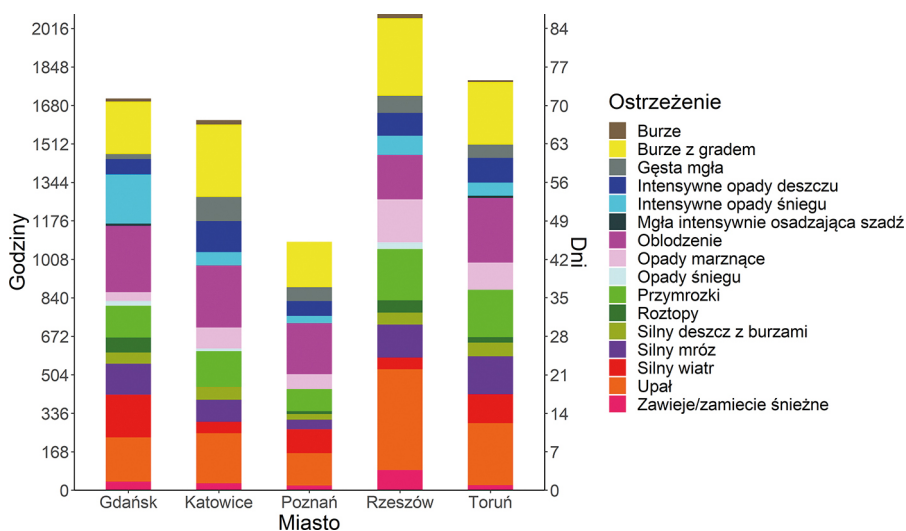
Ryc. 6. Miesięczna suma długości obowiązywania ostrzeżeń meteorologicznych dla Torunia w 2021 roku

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 6. The cumulative month duration of the weather warnings for Toruń in 2021

## Porównanie długości obowiązywania ostrzeżeń meteorologicznych w poszczególnych miastach

W 2021 roku spośród wybranych miast najmniej godzin ostrzeżeń wydano dla Poznania – 1084, a najwięcej dla Rzeszowa – 2079 (ryc. 7). Najdłużej trwającymi ostrzeżeniami w ciągu roku były: upał i burze z gradem wydane dla Rzeszowa (440 i 339 godz.) oraz burze z gradem dla Katowic (317 godz.). W Gdańsku, Toruniu i Poznaniu najdłużej obowiązującymi alertami były te przed oblodzeniem (kolejno: 289, 282 i 222 godz.). W miastach tych jednak nadal znaczący udział miały ostrzeżenia przed burzami z gradem oraz przed upałami, chociaż najniższy był on w Poznaniu (kolejno 198 oraz 142 godz.). W Gdańsku dość często ostrzegano też przed intensywnymi opadami śniegu (215 godz. w roku). W mieście tym ostrzegano najczęściej spośród pozostałych przed silnym wiatrem (186 godz.) oraz roztopami (66 godz.). Z kolei zawieje/zamiecie śnieżne były najczęściej przedmiotem ostrzeżeń meteorologicznych w Rzeszowie (88 godz.), to samo można powiedzieć o przymrozkach (224 godz.) i opadach marznących (188 godz.). W Katowicach relatywnie częstym (względem innych miast) ostrzeżeniem były gęste mgły (105 godz.) oraz intensywne opady deszczu (135 godz.), natomiast w mieście tym nie wydano żadnego ostrzeżenia przed roztopami, pomimo że pozostałe miasta otrzymały co najmniej raz ostrzeżenie tego rodzaju.



Ryc. 7. Roczna suma długości obowiązywania ostrzeżeń meteorologicznych dla Gdańska, Katowic, Poznania, Rzeszowa i Torunia w 2021 roku  
 Źródło: opracowanie własne.

Fig. 7. The cumulative yearly duration of the weather warnings for Gdańsk, Katowice, Poznań, Rzeszów and Toruń in 2021

## Wnioski

Analizując powyższe wyniki, można dojść do wniosku, że niektóre z ostrzeżeń mają podobny udział w ogólnej długości trwania niezależnie od badanego miasta. Taka zależność występuje w ostrzeżeniach dotyczących: upałów, oblodzenia oraz burz z gradem. Każde z tych ostrzeżeń należy do najczęściej wydawanych we wszystkich analizowanych miastach. Są to ekstremalne zjawiska typowe dla strefy klimatycznej, w której położona jest Polska, gdzie panuje klimat umiarkowany ciepły przejściowy (Okołowicz, 1965). Letnie upały są wyjątkowo częste szczególnie przy adwekcji gorącego powietrza zwrotnikowego oraz nasuwania się nad obszar Polski układów lub klinów wysokiego ciśnienia (Tomczyk, Bednorz, 2016; Tomczyk i in., 2019; Wibig, 2021). Występowaniu burz sprzyja m.in. silna letnia konwekcja termiczna, adwekcja ciepłego i wilgotnego powietrza (o równowadze chwiejnej) oraz ścieranie się ze sobą różnych mas powietrza, szczególnie przy froncie chłodnym i zokludowanym (Kolendowicz, 2012). Natomiast zimowe oblodzenia są efektem częstego oscylowania temperatury powietrza wokół punktu zamarzania wody ( $0^{\circ}\text{C}$ ), co skutkuje opadami przechłodzonych kropel deszczu na silnie wychłodzone podłoże (Carriere i in., 2000).

Poszczególne ostrzeżenia meteorologiczne, mimo wysokiego udziału w długości trwania w każdym z miast, różnią się przestrzennie pod względem czasu obowiązywania. Przykładowo wyższa liczba godzin ostrzeżeń dotyczących upałów w Rzeszowie najprawdopodobniej wynika z bardziej kontynentalnego

klimatu na tym obszarze. W takim klimacie lata są znacznie cieplejsze ze względu na silne nagrzewanie się rozległego lądu oraz oddalenie od dużych akwenów (Ward i in., 2013). Dużo krótszy czas trwania ostrzeżeń przed upałami w Gdańsku możesz świadczyć z kolei o łagodzącym wpływie Morza Bałtyckiego i częstszej adwekcji polarnomorskich mas powietrza w ten region Polski (Ustrnul i in., 2010). Stosunkowo mniej ostrzeżeń przed upałami było także w Poznaniu, który charakteryzuje się mniej kontynentalnym klimatem niż wspomniany Rzeszów. W przypadku Poznania wpływ na profil wydawanych w tym mieście alertów ma też zapewne położenie w tzw. cieniu opadowym, który polega na docieraniu do tego miasta mniej wilgotnych mas powietrza, a co za tym idzie – występowania niższych sum opadowych (Szyga-Pluta, Grześkowiak, 2016) ze względu na intensywniejszą kondensację pary wodnej w pasie pomorskich moren czołowych. Może to być główny powód rzadszego niż w innych analizowanych miastach wydawania ostrzeżeń przed burzami z gradem, a także intensywnymi opadami deszczu oraz śniegu. Wśród innych miast również można znaleźć pewne prawidłowości pomiędzy lokalnymi warunkami klimatycznymi a wydawanymi ostrzeżeniami. W położonym nad morzem Gdańsku najczęściej spośród wszystkich miast ostrzegano przed silnym wiatrem, a w charakteryzującym się dość długim okresem zimowym Rzeszowie wyraźnie długie były przymrozki, ale również zawieje/zamiecie śnieżne, co ponownie może być efektem wspomnianego kontynentalizmu. W przypadku Katowic cechą szczególną jest niewielka długość alertów przed silnym wiatrem, co może być efektem specyficznego ukształtowania terenu oraz bardzo zwartej zabudowy. Rzeźba terenu może być także przyczyną częstego wydawania ostrzeżeń przed mgłami w tym mieście. Przy wysokiej emisji zanieczyszczeń mgły te mogą być wyjątkowo niebezpieczne i przemienić się w smog (Wielgosiński, Czerwińska, 2020). Natomiast Toruń charakteryzował się dość podobnym czasem wydawanych ostrzeżeń zarówno przed zjawiskami typowo letnimi (upały, burze z gradem), jak i zimowymi (silne mrozy, oblodzenie), co dobrze ilustruje klimat tego miasta, charakteryzujący się ścieraniem różnych mas powietrza w związku z położeniem w centralnej Polsce, a zatem w strefie oddziaływania zarówno powietrza polarnomorskiego, jak i kontynentalnego (Pospieszyńska, Przybylak, 2019).

Badania wydawanych ostrzeżeń meteorologicznych pomagają ocenić, na jakie niebezpieczne zjawiska meteorologiczne były narażone poszczególne miasta. Dzięki temu władze województw, powiatów i gmin są w stanie lepiej przygotować się na nadchodzące groźne zjawiska oraz dostosować strategię zespołów zarządzania kryzysowego do potencjalnej długości obowiązywania ostrzeżeń oraz ich rodzaju. Dzięki temu istnieje większe prawdopodobieństwo zapobieżenia tragicznym i kosztownym skutkom takich zjawisk lub ich złagodzenia. Porównując wydawane ostrzeżenia do klimatu danego miejsca, można też formułować coraz lepsze teorie na temat tego, jak lokalne uwarunkowania klimatyczne wpływają na częstość wydawania ostrzeżeń, a co za tym idzie – potencjalną częstość występowania różnych ekstremalnych zjawisk pogodowych. Dalsze prowadzenie badań odnośnie do ostrzeżeń powinno skupić się na uwzględnieniu większej liczby miast oraz różnych zakresach czasowych. Przedmiotem kolejnych badań może



być także porównanie zaobserwowanych groźnych zjawisk pogodowych z wydanymi ostrzeżeniami, co pozwoliłoby stwierdzić, czy ostrzeżenia meteorologiczne dobrze ilustrują faktyczne zagrożenie pogodowe. Ważne jest ponadto uświadcianie społeczeństwa wobec powagi ostrzeżeń meteorologicznych, popularyzacja wiedzy o groźnych zjawiskach atmosferycznych i odpowiednim bronienu się przed nimi oraz prowadzenie dalszych badań nad niebezpieczną pogodą.

## Literatura

- Beillouin D., Schauburger B., Bastos A., Ciais P., Makowski D., 2020, Impact of extreme weather conditions on European crop production in 2018, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375(1810), 20190510.
- Bielec-Bąkowska Z., 2003, Long-term variability of thunderstorm occurrence in Poland in the 20th century, *Atmospheric Research*, 67: 35–52.
- Bissolli P., Friedrich K., Rapp J., Ziese M., 2011, Flooding in eastern central Europe in May 2010 – reasons, evolution and climatological assessment, *Weather*, 66(6): 147–153.
- Carrière J.M., Lainard C., Le Bot C., Robart F., 2000, A climatological study of surface freezing precipitation in Europe, *Meteorological Applications*, 7(3): 229–238.
- Chmielewski T., Szer J., Bobra P., 2020, Derecho wind storm in Poland on 11–12 August 2017: results of the post-disaster investigation, *Environmental Hazards*, 19(5): 508–528.
- De Sario M., Katsouyanni K., Michelozzi P., 2013, Climate change, extreme weather events, air pollution and respiratory health in Europe, *European Respiratory Journal*, 42(3): 826–843.
- Fudge J., 2016, Exercise in the cold: preventing and managing hypothermia and frostbite injury, *Sports Health*, 8(2): 133–139.
- Kenney W.L., Craighead D.H., Alexander L.M., 2014, Heat waves, aging, and human cardiovascular health, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(10): 1891.
- Kolendowicz L., 2012, Synoptic patterns associated with thunderstorms in Poland, *Meteorologische Zeitschrift*, 21(2): 145.
- Kovats R.S., Kristie L.E., 2006, Heatwaves and public health in Europe, *European Journal of Public Health*, 16(6): 592–599.
- Kuchcik M., Degórski M., 2009, Heat-and cold-related mortality in the north-east of Poland as an example of the socio-economic effects of extreme hydrometeorological events in the Polish Lowland, *Geographia Polonica*, 82(1): 69–78.
- Kundzewicz Z.W., Szamalek K., Kowalczak P., 1999, The great flood of 1997 in Poland, *Hydrological Sciences Journal*, 44(6): 855–870.
- Malin F., Norros I., Innamaa S., 2019, Accident risk of road and weather conditions on different road types, *Accident Analysis & Prevention*, 122: 181–188.
- McGregor G.R., Ferro C.A., Stephenson D.B., 2005, Projected changes in extreme weather and climate events in Europe, *Extreme Weather Events and Public Health Responses*, 13–23.
- Okołowicz W., 1965, Klimaty kuli ziemskiej, [W:] *Wielka encyklopedia powszechna PWN*, t. 5, PWN, Warszawa.
- Pińskwar I., Choryński A., Graczyk D., Kundzewicz Z.W., 2019, Observed changes in extreme precipitation in Poland: 1991–2015 versus 1961–1990, *Theoretical and Applied Climatology*, 135: 773–787.



- Pospieszyńska A., Przybylak R., 2019, Air temperature changes in Toruń (central Poland) from 1871 to 2010, *Theoretical and Applied Climatology*, 135: 707–724.
- Pórolniczak M., Tomczyk A.M., Kolendowicz L., 2018, Thermal conditions in the city of Poznań (Poland) during selected heat waves, *Atmosphere*, 9(1): 11.
- Rodzik J., Furtak T., Zglobicki W., 2009, The impact of snowmelt and heavy rainfall runoff on erosion rates in a gully system, Lublin Upland, Poland, *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 34(14): 1938–1950.
- Santamouris M., Kolokotsa D., 2015, On the impact of urban overheating and extreme climatic conditions on housing, energy, comfort and environmental quality of vulnerable population in Europe, *Energy and Buildings*, 98: 125–133.
- Szyga-Pluta K., Grześkowiak K., 2016, Warunki pluwialne w Poznaniu w latach 1981–2015, *Badania Fizjograficzne*, A, 67: 239–256.
- Ustrnul Z., Czekierda D., Wypych A., 2010, Extreme values of air temperature in Poland according to different atmospheric circulation classifications, *Physics and Chemistry of the Earth, A/B/C*, 35(9–12): 429–436.
- Ustrnul Z., Wypych A., Henek E., Czekierda D., Walawender J., Kubacka D., Pyrc R., Czernecki B., 2014, *Atlas zagrożeń meteorologicznych Polski*, Wydawnictwo Attyka, Kraków.
- Taszarek M., Suwała K., 2015, Large hail in Poland in 2012, *Quaestiones Geographicae*, 34(1).
- Tomczyk A.M., Bednorz E., 2016, Heat waves in Central Europe and their circulation conditions, *International Journal of Climatology*, 36(2): 770–782.
- Tomczyk A.M., Bednorz E., 2020, The extreme year – analysis of thermal conditions in Poland in 2018, *Theoretical and Applied Climatology*, 139(1–2): 251–260.
- Tomczyk A.M., Bednorz E., Pórolniczak M., Kolendowicz L., 2019, Strong heat and cold waves in Poland in relation with the large-scale atmospheric circulation, *Theoretical and Applied Climatology*, 137: 1909–1923.
- Tomczyk A.M., Pórolniczak M., Kolendowicz L., 2018, Cold waves in Poznań (Poland) and thermal conditions in the city during selected cold waves, *Atmosphere*, 9(6): 208.
- Ward K., Lauf S., Kleinschmit B., Endlicher W., 2016, Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers, *Science of the Total Environment*, 569: 527–539.
- Wibig J., 2018, Heat waves in Poland in the period 1951–2015: trends, patterns and driving factors, *Meteorology Hydrology and Water Management, Research and Operational Applications*, 6(1): 37–45.
- Wibig J., 2021, Hot Days and heat waves in Poland in the period 1951–2019 and the circulation factors favoring the most extreme of them, *Atmosphere*, 12(3): 340.
- Wibig J., Podstawczyńska A., Rzepa M., Piotrowski P., 2009, Coldwaves in Poland – frequency, trends and relationships with atmospheric circulation, *Geographia Polonica*, 82(1): 47–59.
- Wielgościński G., Czerwińska J., 2020, Smog episodes in Poland, *Atmosphere*, 11(3): 277.
- Worfolk J.B., 2000, Heat waves: their impact on the health of elders, *Geriatric Nursing*, 21(2): 70–77.

### Źródła internetowe

<https://www.imgw.pl/wydarzenia/imgw-pib-wstepna-analiza-klimatyczna-2021>

<http://aplikacjameteo.imgw.pl/informacje-i-pomoc/ostrzezenia/stopnie-ostrzezen-i-tresc-komunikatow/>

## **Meteorological warnings in selected Polish cities in 2021**

**Abstract:** The aim of the study was to compare the duration and types of meteorological warnings issued by the Institute of Meteorology and Water Management – National Research Institute for five selected Polish stations in 2021. The warnings issued for Gdańsk, Katowice, Poznań, Rzeszów and Toruń were analyzed using statistical methods. For each city, apart from Poznań, the months in which the alerts were in force the longest were July and February. In Poznań, these months are June and January. In summer, the most frequent warnings were of heat and thunderstorms with hail. In winter, however, the warnings were often varied, but most often concerned icing, heavy snowfall and severe frost. In the spring months, frosts were very common warnings, and strong winds in the autumn. The total annual duration of meteorological warnings was the highest for Rzeszów and the lowest for Poznań.

**Keywords:** meteorological warnings, extreme weather phenomena, synoptic meteorology, climate of Poland



*Dawid Kozar, Adam Szczapiński, Weronika Welcz,  
Julita Sikora, Anna Stasiewicz*

**Sekcja Meteorologii  
Studenckiego Koła Naukowego Geografów  
im. Stanisława Pawłowskiego UAM w Poznaniu**

## **Analiza sytuacji pogodowych dla Poznania dla okresu bożonarodzeniowego, tj. 24–26 grudnia w latach 1961–2020, ze szczególnym uwzględnieniem obecności i grubości pokrywy śnieżnej**

**Zarys treści:** Obecność pokrywy śnieżnej w dniach 24–26 grudnia ma szczególne znaczenie. W pracy poddano analizie sytuacje synoptyczne w okresie bożonarodzeniowym w latach 1961–2020 w Poznaniu, biorąc pod uwagę temperaturę powietrza, rodzaj i wielkość opadu, obecność i grubość pokrywy śnieżnej oraz cyrkulację atmosferyczną. Zaobserwowano istotny statystycznie wzrost średnich i maksymalnych temperatur w analizowanym okresie na przestrzeni lat oraz zmniejszanie się liczby dni z pokrywą śnieżną w kolejnych dziesięcioleciach. Brak zmian w wielkości opadów atmosferycznych świadczy o tym, że przyczyną zaniku „białych świąt” – jest wzrost temperatury powietrza.

**Słowa kluczowe:** pokrywa śnieżna, pogoda, klimat, Poznań

### **Wstęp**

Czas świąt Bożego Narodzenia, tj. 24–26 grudnia, jest czasem szczególnie ważnym dla dużej części społeczeństwa (Stala, 2014). Wielu zwraca wtedy uwagę na pogodę, ponieważ w kulturze europejskiej kojarzone są one z białymi krajobrazami i mrozem. Zmiany klimatyczne w Polsce (Kundzewicz i in., 2012), które obserwuje się w ostatnich latach, wydają się ograniczać występowanie tzw. „białych świąt”. Wzrost średniej temperatury powietrza w Polsce od lat 80. XX wieku wynosi 0,5°C/10 lat (Półrolniczak i in., 2019). W Polsce odnotowuje się spadek liczby dni z pokrywą śnieżną (Szwed, 2017).

Według klasyfikacji Köppena-Geigera Poznań znajduje się w klimacie chłodnym bez sezonu suchego z ciepłym latem (Peel i in., 2007). Na terenie Poznania występuje zjawisko miejskiej wyspy ciepła, która przyczynia się do coraz częściej obserwowanych fal upałów, a zjawiska fal chłodu występują coraz rzadziej (Kołendowicz i in., 2019; Półrolniczak i in., 2019).

W pracy przeanalizowano sytuację pogodową w dniach 24–26 grudnia na przestrzeni 60 lat, czyli w latach 1961–2020 dla Poznania. Wyróżniono temperaturę powietrza, wielkość zachmurzenia, opady atmosferyczne, ich rodzaj oraz cyrkulację atmosferyczną. Elementem, na który zwrócono szczególną uwagę, jest pokrywa śnieżna. Występowanie pokrywy śnieżnej uzależnione jest od rodzaju cyrkulacji atmosferycznej i temperatury. Największy wpływ na występowanie pokrywy śnieżnej ma Oscylacja Północnoatlantycka (Bednorz, 2006). Na podstawie analizy można odpowiedzieć na potoczne pytanie: jak często mieliśmy białe święta w Poznaniu?

## Dane, metody oraz obszar badań

Do analizy sytuacji pogodowych dla Poznania w okresie bożonarodzeniowym, tj. 24–26 grudnia, wykorzystano dane synoptyczne Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW – PIB) oraz archiwalne mapy synoptyczne Europy modelu GFS. Dane statystyczne zostały opracowane przy użyciu programu Microsoft Excel. Analiza obejmowała wieloletnie 1961–2020 i dotyczyła porównania temperatury powietrza, temperatury gruntu, zachmurzenia, cyrkulacji atmosferycznej oraz opadów atmosferycznych ze szczególnym uwzględnieniem występowania pokrywy śnieżnej na obszarze Poznania.

Opisana analiza umożliwiła określenie częstości występowania tzw. „białych świąt” w Poznaniu na przestrzeni wyżej wymienionych 60 lat. Za kryteria definiujące „białe święta” zostały uznane: występowanie w okresie 24–26 grudnia trzech dni z pokrywą śnieżną oraz średnia temperatura nieprzekraczająca 0°C.

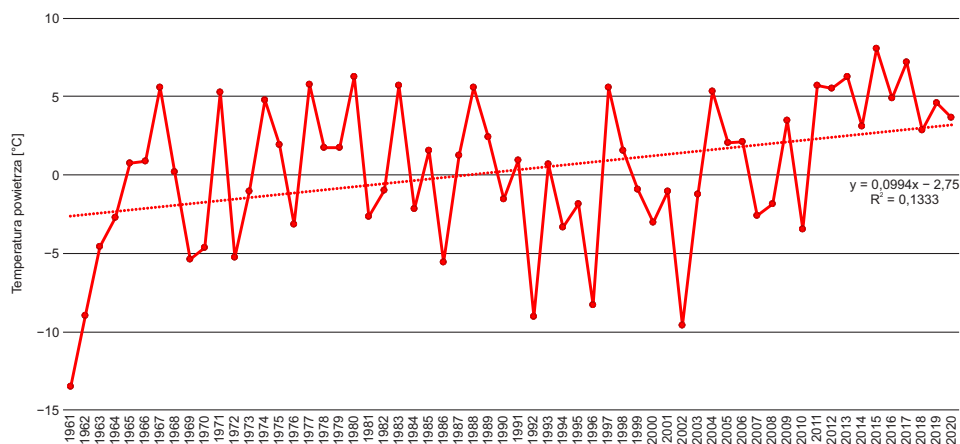
Na podstawie danych dotyczących temperatury powietrza zostały sporządzone wykresy liniowe średniej, minimalnej oraz maksymalnej temperatury powietrza dla okresów 24–26 grudnia wraz z wyznaczoną linią trendu zmian. Analiza obejmowała również zestawienie wielkości zachmurzenia, mierzonej w oktantach oraz porównanie sumy opadów atmosferycznych w badanym okresie. Zestawiono całkowitą liczbę dni z rodzajem opadów atmosferycznych (z deszczem, śniegiem lub brakiem opadów). Porównano grubość pokrywy śnieżnej w dniach 24–26 grudnia oraz maksymalne wartości wysokości pokrywy śnieżnej w poszczególnych latach. Na analizę cyrkulacji atmosferycznej składa się również zestawienie częstości występowania poszczególnych mas powietrza oraz częstości typów cyrkulacji w Poznaniu. Rozkład cyrkulacji atmosferycznej ustalono na podstawie subiektywnej oceny umiejscowienia ośrodków barycznych na poziomie morza oraz wysokości geopotencjału na powierzchni izobarycznej 500 hPa. Na tej podstawie dokonano identyfikacji kierunku napływu poszczególnych mas powietrza, posługując się metodą Osuchowskiej-Klein (1973). Zrezygnowano z klasyfikacji typów

cyrkulacji ze względu na zróżnicowaną specyfikę metod klasyfikacji i tym samym brak uniwersalnego rozwiązania problemu (Bogucki, 1992).

## Wyniki

### Temperatura powietrza

Na rycinie 1 przedstawiono średnią temperaturę powietrza w Poznaniu w okresie 24–26 grudnia dla lat 1961–2020. Przyjmowała ona wartości zarówno dodatnie, jak i ujemne. Najniższą średnią temperaturę odnotowano na początku analizowanego okresu, czyli w 1961 roku ( $-13,5^{\circ}\text{C}$ ). Natomiast najwyższe wskazanie dotyczy 2015 roku i wynosi  $8,5^{\circ}\text{C}$ . Trend jest wyraźnie rosnący i wynosi niemal  $1^{\circ}\text{C}/10$  lat. Jest też istotny statystycznie na poziomie  $p < 0,01$ . W dziesięciu ostatnich latach (2011–2020) średnia temperatura w okresie 24–26 grudnia była zawsze dodatnia.

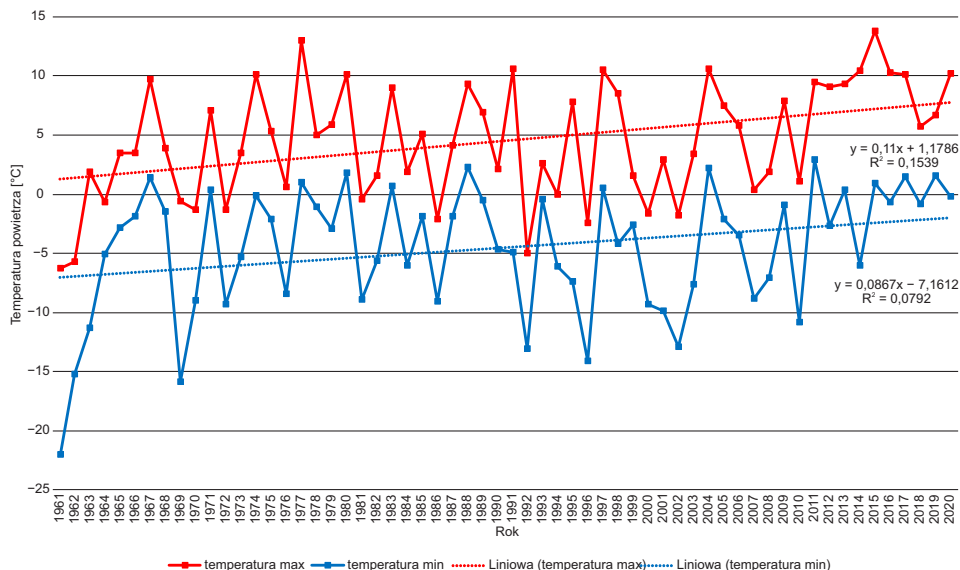


Ryc. 1. Średnia temperatura powietrza w Poznaniu w okresie 24–26 grudnia w latach 1961–2020. Dodano linię trendu wraz z równaniem regresji i wartością współczynnika determinacji

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 1. Mean air temperature in Poznań during Christmas in the period 1961–2020. Added trend line with regression equation and coefficient of determination value

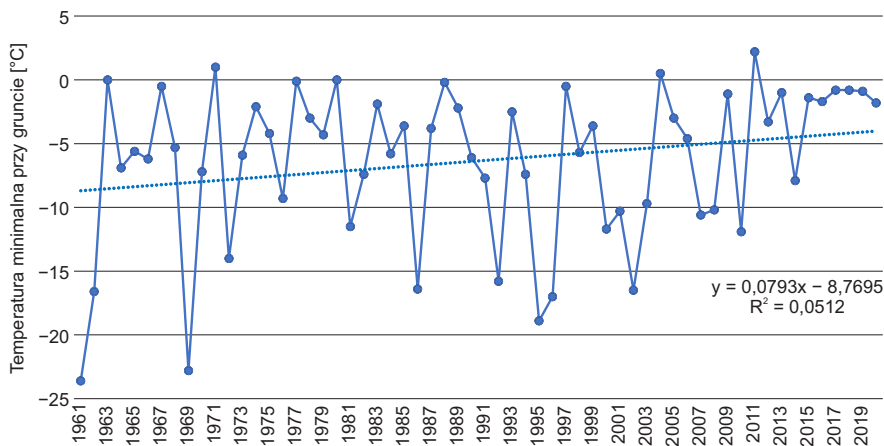
Maksymalna i minimalna temperatura zostały przedstawione na rycinie 2. Zarówno pierwsza, jak i druga były najniższe w 1961 roku, wynosząc odpowiednio  $-6,3^{\circ}\text{C}$  oraz  $-22,0^{\circ}\text{C}$ . W 2015 roku maksymalna temperatura w okresie 24–26 grudnia była równa  $13,8^{\circ}\text{C}$ , co jest najwyższym wskazaniem dla analizowanego ciągu pomiarowego. Z kolei najwyższa temperatura minimalna w czasie świąt została odnotowana w 2011 roku ( $2,9^{\circ}\text{C}$ ). W badanym okresie niekiedy zdarzały się wysokie różnice pomiędzy temperaturą maksymalną a minimalną. Najwyższą amplitudę odnotowano w 2014 roku. Temperatura maksymalna była wtedy



Ryc. 2. Maksymalna (czerwony) i minimalna (niebieski) temperatura powietrza w Poznaniu w okresie 24–26 grudnia w latach 1961–2020. Dodano linie trendu wraz z równaniem regresji i wartością współczynnika determinacji

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 2. Maximum (red) and minimum (blue) air temperature in Poznań during Christmas in 1961–2020. Added trend line with regression equation and coefficient of determination value



Ryc. 3. Minimalna temperatura powietrza przy gruncie w Poznaniu w okresie 24–26 grudnia w latach 1961–2020. Dodano linię trendu wraz z równaniem regresji i wartością współczynnika determinacji

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 3. Minimal air temperature near the ground in Poznań during Christmas in 1961–2020. Added trend line with regression equation and coefficient of determination value

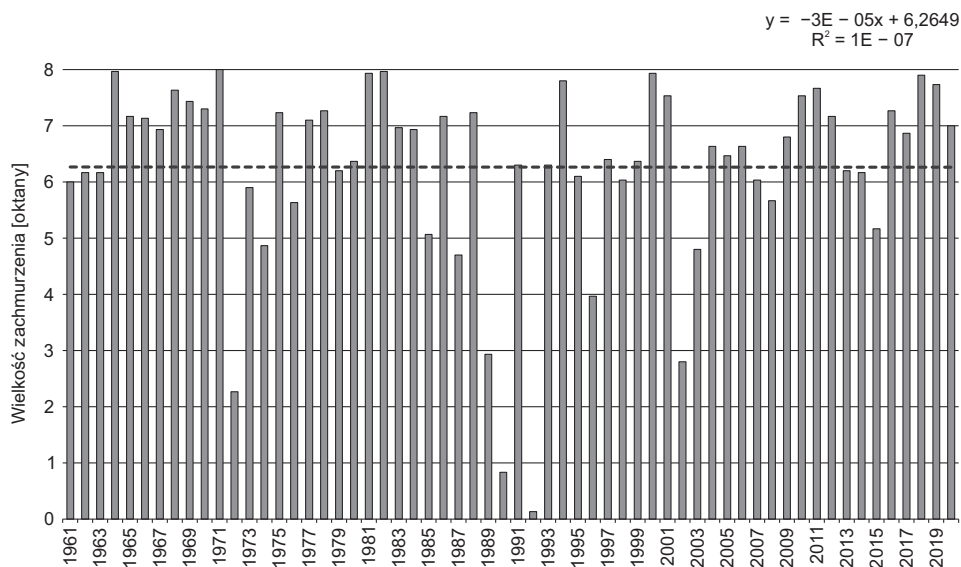


równa 10,4°C, a minimalna –6,0°C, co dało amplitudę 16,4°C. Oba parametry prezentują trend rosnący: dla temperatury maksymalnej jest równy 1,1°C/10 lat, a dla minimalnej 8,7°C/10 lat. Trend jest istotny statystycznie dla wartości maksymalnej na poziomie  $p < 0,01$ , a dla minimalnej na poziomie  $p < 0,05$ .

Najniższa zmierzona minimalna temperatura powietrza przy gruncie podczas świąt została odnotowana w 1961 roku, gdy była równa –23,6°C (ryc. 3). Bardzo niskie wskazanie zostało też zarejestrowane w 1969 roku (–22,8°C). Niezwykle rzadko zdarzało się, aby temperatura przy gruncie przyjmowała wartości dodatnie przez cały okres 24–26 grudnia. Było tak m.in. w 2011 roku, gdy najniższa odnotowana temperatura była równa 2,2°C, co jest najwyższym wskazaniem w ciągu pomiarowym. Trend minimalnej temperatury powietrza przy gruncie jest rosnący, nieistotny statystycznie; wynosi 0,8°C/10 lat.

## Zachmurzenie i opady atmosferyczne

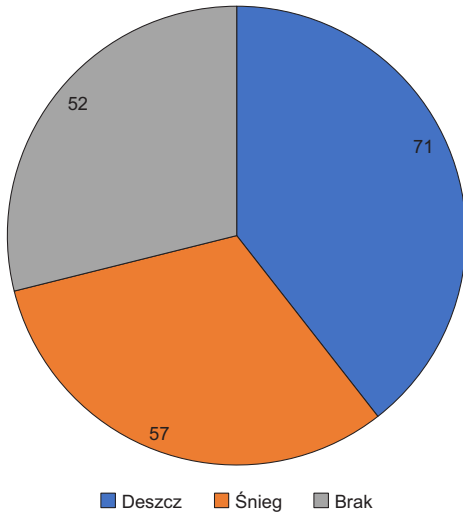
W okresie bożonarodzeniowym obserwowano zazwyczaj znaczną wielkość zachmurzenia w Poznaniu (ryc. 4). Średnia dla wielolecia 1961–2020 to 6,3 oktanta. W 1971 roku w każdym dniu w okresie 24–26 grudnia rejestrowano średnio 8,0 oktanta, czyli całkowite pokrycie nieba chmurami. Podobna sytuacja miała miejsce w 1964 roku (w jeden dzień średnia wielkość zachmurzenia wynosiła 7,9 oktanta; w pozostałe 8,0). Sporadycznie zdarzały się święta z niską wielkością zachmurzenia lub jego całkowitym brakiem. Tak było w 1992 roku, kiedy podczas



Ryc. 4. Średnia wielkość zachmurzenia w Poznaniu w okresie 24–26 grudnia w latach 1961–2020 z zaznaczoną linią trendu. Dodano linię trendu

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 4. Mean cloudiness in Poznań during Christmas in 1961–2020 with trendline



Ryc. 5. Całkowita liczba dni z rodzajem odnotowanych opadów atmosferycznych w Poznaniu w okresie 24–26 grudnia w latach 1961–2020

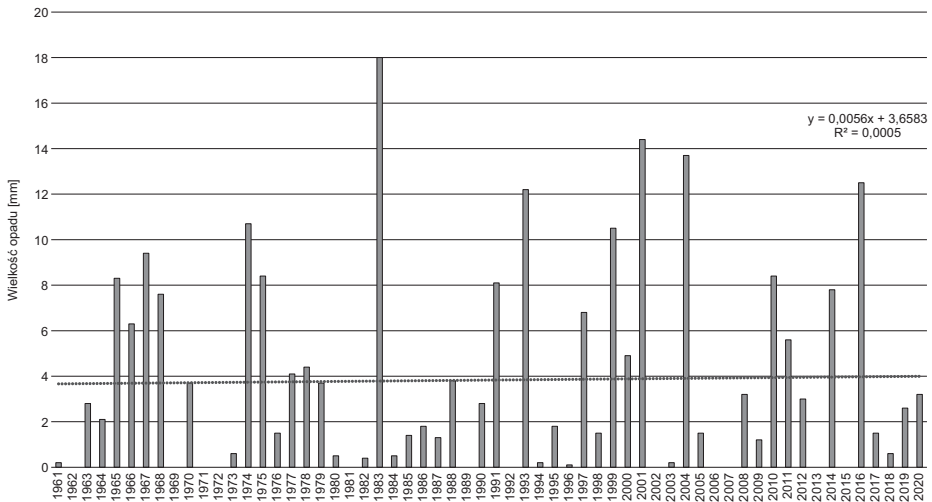
Źródło: opracowanie własne.

Fig. 5. Total amount of days with type of atmospheric precipitation in Poznań during Christmas in 1961–2020

dwóch dni średnia wielkość zachmużenia wyniosła 0 oktantów, a w jednym dniu było to średnio 0,4 oktanta. Trend jest lekko malejący, jednak nieistotny statystycznie.

Podczas 180 dni świątecznych, które są analizowane (24–26 grudnia; 60 lat) w 128 dniach odnotowano opad, a 52-krotnie nie było żadnego opadu (ryc. 5). Opad deszczu wystąpił w 71 dniach, 57 razy odnotowano opad śniegu. Nie było sytuacji, aby jednego dnia odnotowywano zarówno opady deszczu, jak i śniegu. Zdarzyło się 2-krotnie, że przez cały okres 24–26 grudnia nie odnotowano żadnych opadów: w 1965, 1991 i 2010 roku.

W trakcie dwunastu świąt nie odnotowywano w Poznaniu opadu atmosferycznego  $\geq 0,1$  mm (ryc. 6). Ostatnia taka sytuacja miała miejsce w 2015 roku. Średnia suma opadów



Ryc. 6. Suma opadów atmosferycznych w Poznaniu w okresie 24–26 grudnia w latach 1961–2020 z zaznaczoną linią trendu

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 6. Sum of atmospheric precipitation in Poznań during Christmas in 1961–2020 with trendline

dla okresu 24 to 3,83 mm rocznie. Najwyższy opad atmosferyczny zarejestrowano w 1983 roku i wyniósł 18,0 mm. Natomiast 7-krotnie suma opadu atmosferycznego w Poznaniu była równa co najmniej 10 mm – ostatni raz w 2016 roku (12,5 mm). Najwyższą dobową sumę opadów zanotowano 24 grudnia 2001 roku (11,9 mm). Trend sumy opadów atmosferycznych w okresie 24–26 grudnia w latach 1961–2020 jest lekko rosnący, jednak brak jest istotności statystycznej.

## Pokrywa śnieżna

Spośród 180 analizowanych dni w 59 odnotowano występowanie pokrywy śnieżnej (tab. 1). Ostatnim rokiem z pokrywą śnieżną był 2012 (1 cm śniegu 24 grudnia), czyli przez 8 kolejnych lat z rzędu (2013–2020) nie zaobserwowano jej występowania w Poznaniu. Natomiast występowanie tego zjawiska przez cały

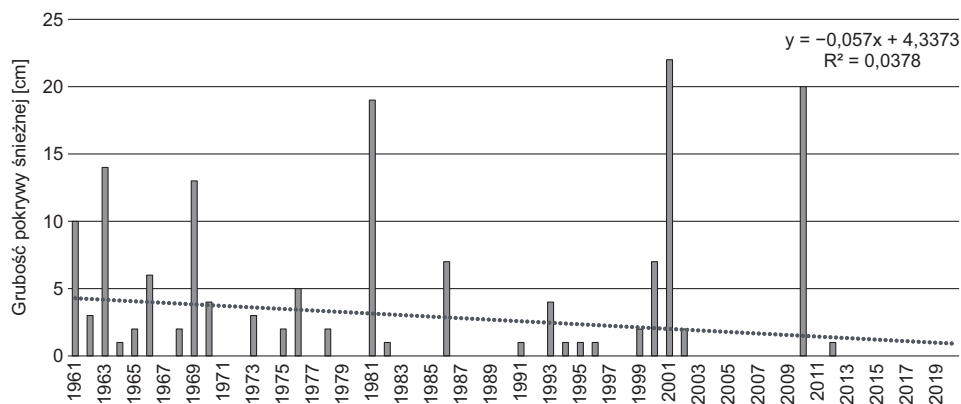
Tabela 1. Grubość pokrywy śnieżnej (w centymetrach) w poszczególnych dniach 24–26 grudnia w Poznaniu w latach 1961–2020. Puste komórki oznaczają brak zaobserwowanego zjawiska

Table 1. Height of snow cover (in centimeters) for different days of Christmas in Poznań in 1961–2020. Blank cells mean no phenomenon observed

Dzień	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
24	10	3	14			2			12	1
25	8	2	12		2	4		2	12	3
26	8	2	12	1		6		13	12	4
Dzień	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
24			3					2		
25			3			4		2		
26			3		2	5				
Dzień	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
24	19					6				
25	19	1				7				
26	19					7				
Dzień	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
24				1					2	
25				1	1	1			1	4
26	1		4	1	1	1				7
Dzień	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
24	16	2								18
25	22	2								17
26	17	2								20
Dzień	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
24		1								
25										
26										

Źródło: opracowanie własne.

okres 24–26 grudnia odnotowano ostatnio w 2010 roku. W ciągu dwóch dekad XXI wieku (2001–2020) pokrywa śnieżna wystąpiła tylko w 7 dniach z okresu 24–26 grudnia (lata 2001, 2002 2010 i 2012). Dla porównania w pierwszej dekadzie analizowanego szeregu czasowego (1961–1970) pokrywa śnieżna została zarejestrowana podczas świąt w Poznaniu w 22 dniach, a jedynym rokiem bez pojawienia się śniegu był 1967. Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej została odnotowana w 2001 roku (25 grudnia) i wyniosła 22 cm. Znaczna wartość wystąpiła także w 2010 roku (26 grudnia), sięgając 20 cm. W 1981 roku w każdym z dni 24–26 grudnia maksymalna grubość pokrywy śnieżnej wyniosła 19 cm. Zestawienie corocznych maksymalnych wartości przedstawiono na rycinie 7. Trend dla maksymalnej grubości pokrywy śnieżnej jest nieistotny statystycznie.



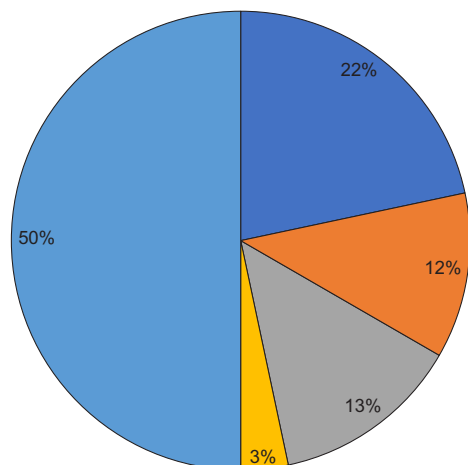
Ryc. 7. Maksymalna grubość pokrywy śnieżnej w Poznaniu w okresie 24–26 grudnia w latach 1961–2020. Dodano linię trendu wraz z równaniem regresji i wartością współczynnika determinacji

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 7. Maximal height of snow cover in Poznań during Christmas in 1961–2020. Added trend line with regression equation and coefficient of determination value

## Cyrkulacja atmosferyczna

W okresie 24–26 grudnia w Poznaniu w 50% analizowanych lat obserwowano masy powietrza polarnomorskiego (ryc. 8). Adwekcja tych mas powietrza wystąpiła w 5 ostatnich latach (2016–2020) analizowanego wielolecia. W 22% przypadków nad Poznań napływało powietrze arktyczne. Ostatni raz miało to jednak miejsce w 2010 roku podczas bardzo śnieżnych świąt. Bardzo częstą adwekcję powietrza arktycznego rejestrowano w latach 2000–2010 (8 razy na 11 lat). W 13% lat odnotowano masy powietrza kontynentalnego, a w 12% zwrotnikowego morskiego. Najrzadziej – bo zaledwie w 3% przypadków – do Poznania docierały masy powietrza zwrotnikowego kontynentalnego. Miało to miejsce w 1981 i 1990 roku. W ciągu 60 lat aż 37 razy rejestrowano cyrkulację strefową (ryc. 9), co daje 62% wszystkich lat. Natomiast w co trzecim roku typ cyrkulacji ujęto jako południkowy. W latach 1962, 1992 i 1994 nie odnotowano cyrkulacji powietrza.

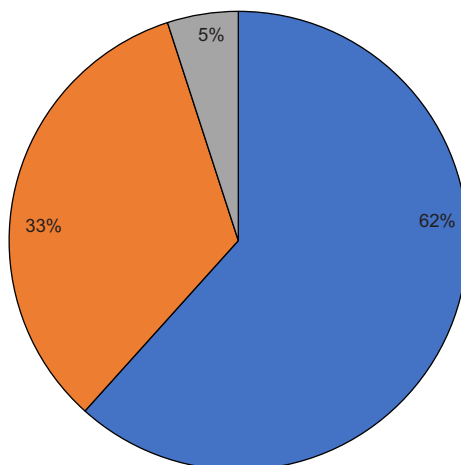


- PA – powietrze arktyczne
- PZm – powietrze zwrotnikowe morskie
- PK – powietrze kontynentalne
- PZk – powietrze zwrotnikowe kontynentalne
- PPM – powietrze polarno-morskie

Ryc. 8. Częstość mas powietrza napływających do Poznania w okresie 24–26 grudnia w latach 1961–2020

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 8. Frequency of air masses flowing to Poznań during Christmas in 1961–2020



- Cyrkulacja strefowa
- Cyrkulacja południkowa
- brak cyrkulacji

Ryc. 9. Częstość typów cyrkulacji w Poznaniu w okresie 24–26 grudnia w latach 1961–2020

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 9. Frequency of circulation's types in Poznań during Christmas in 1961–2020

## Wnioski

Średnie temperatury powietrza dla dni 24–26 grudnia wynosiły od 13,5°C w 1961 roku do 8,5°C w 2015 roku. Średnia temperatura powietrza wykazuje trend rosnący wynoszący 1°C/10 lat, temperatury minimalne i maksymalne również wykazują tendencję rosnącą. To trend zakładający ponad 2 razy większy wzrost niż trend zmian temperatury powietrza w latach 1987–2016 w Poznaniu (Kolendowicz i in., 2019). Możliwą przyczyną jest krótki czas trwania badanego okresu.

W okresie bożonarodzeniowym w większości przypadków obserwowano znaczące zachmurzenie nieba, o średniej wielkości 6,3 oktanta. Wśród poddanych analizie 180 dni w 128 wystąpiły opady. Trzykrotnie we wszystkie dni (24–26 grudnia) wystąpiły opady śniegu, dodatkowo w 12 przypadkach miała miejsce sytuacja, kiedy w dniach 24–26 grudnia w ogóle nie wystąpiły opady. Średnia suma opadów dla okresu 24–26 grudnia w analizowanych latach to 3,83 mm rocznie. Zarówno wielkość zachmurzenia, jak i wielkość opadów nie ulega istotnym statystycznie zmianom.

Pokrywa śnieżna występowała przez łącznie 59 dni ze 180 analizowanych. Ostatnim rokiem, w którym pokrywa śnieżna wystąpiła w Poznaniu, był rok

2012. W ciągu 60 analizowanych lat jedynie w trakcie trzynastu okresów 24–26 grudnia pokrywa śnieżna występowała przez pełne 3 dni, z czego 6 razy miało to miejsce w latach 60. Po raz ostatni sytuację taką obserwowano w 2010 roku. Dni z pokrywą śnieżną wystąpiły w latach o najniższych ujemnych temperaturach.

W 50% analizowanych sytuacji nad Poznaniem masy powietrza były pochodzenia polarno-morskiego. Dodatkowo w ciągu 60 lat (62%) w Poznaniu wystąpiła cyrkulacja strefowa. Wskazuje to na wagę temperatur polarnomorskich mas powietrza, a wskutek tego istotność temperatur wód północnego Atlantyku w kształtowaniu się temperatury w analizowanym okresie w Poznaniu.

W ostatnim dziesięcioleciu w dniach 24–26 grudnia średnia dobową temperatura każdego roku utrzymywała się powyżej 0°C, co spowodowało prawie całkowity brak pokrywy. Trendy zmian temperatur są dodatnie, co sugeruje dalszy wzrost temperatury w dniach 24–26 grudnia w następnych latach, a co za tym idzie – coraz mniejszą częstość występowania pokrywy śnieżnej.

Najwięcej okresów z pokrywą śnieżną odnotowano w latach 60. XX wieku, za to stosunkowo mało było ich w dość obfitych w śnieg latach 80. XX wieku (Bednorz, 2008). Z kolei bogate w pokrywę śnieżną okresy początku XXI wieku pokrywają się z serią zim obfitujących w opady śniegu w tych latach (Bednorz, 2008). Sugeruje to brak możliwości uznania jednoznacznej korelacji między obfitościami w opady śniegu zimą a występowaniem pokrywy śnieżnej w konkretnych dniach 24–26 grudnia. Należy wziąć pod uwagę krótki czas trwania tego okresu na tle zimy meteorologicznej.

## Literatura

- Bednorz E., 2006, Wpływ makroskalowych typów cyrkulacji na występowanie pokrywy śnieżnej w Polsce Północo-Zachodniej.
- Bednorz E., Bednorz L., 2008, Możliwości uprawiania narciarstwa biegowego w rejonie Poznania w kontekście śnieżności zim.
- Bogucki J., 1992, Typy cyrkulacji atmosfery w Poznaniu, *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, A, 44.
- Kolendowicz L., Czernecki B., Półrolniczak M., Taszarek M., Tomczyk A.M., Szyga-Pluga K., 2019, Homogenization of air temperature and its long-term trends in Poznań (Poland) for the period 1848–2016, *Theoretical and Applied Climatology*, 136: 1357–1370.
- Osuchowska-Klein B., 1973, Analiza rocznych przebiegów częstości występowania w Polsce makrotypów cyrkulacji atmosferycznej, *Przeł. Geofiz.*, 18, 3–4.
- Kundzewicz Z.W., Matczak P., 2012, Climate change regional review: Poland, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3(4): 297–311.
- Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A., 2007, Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5): 1633–1644.
- Półrolniczak M., Kolendowicz L., Majkowska-Juskowiak A., 2019, Stan badań klimatu Poznania ze szczególnym uwzględnieniem pola temperatury i zjawiska miejskiej wyspy ciepła, *Acta Geographica Lodziensia*, 108: 79–92.
- Stala J., 2014, Przeżywanie adwentu i Bożego Narodzenia w polskich rodzinach w XXI wieku.

Szwed M., Pińskwar I., Kundzewicz Z.W., 2017, Zmiany pokrywy śnieżnej. Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce.

### **Analysis of weather situations for Poznań for the Christmas period, i.e. 24–26 of December, from 1961 to 2020, with particular emphasis on the presence and snow cover thickness**

**Abstract:** The occurrence of snow cover on 24–26 of December is of special importance. The study analyzed the synoptic situations during the Christmas period from 1961 to 2020 in Poznań, taking into account air temperature, type and amount of precipitation, presence of snow cover thickness and its thickness. A statistically significant increase in average and maximum temperatures in the analyzed period and a decrease in the number of days with snow cover in successive decades were observed. The lack of change in the amount of precipitation indicates that the reason for the disappearance of the ‘white Christmas’ is the increase in air temperature.

**Keywords:** snow cover, weather, climate, Poznań





*Wiktoria Brzezińska, Dariusz Wrzeński, Szymon Świątek*

**Sekcja Hydrologii  
Studenckiego Koła Naukowego Geografów  
im. Stanisława Pawłowskiego UAM w Poznaniu**

## **Wpływ ocieplenia klimatu na odpływ rzek w Polsce w latach 1951–2020**

**Zarys treści:** W pracy dokonano szczegółowej analizy wpływu ocieplenia klimatu na wysokość, tendencje zmian i strukturę sezonową odpływu rzek w Polsce. Badania objęły wielolecie 1951–2020 z podziałem na dwa podokresy: 1951–1988 i 1988–2020, a rok 1988 uznano za umowny termin zmian warunków termicznych. W pracy wykorzystano serie średnich rocznych i sezonowych wartości temperatury powietrza, opadów atmosferycznych oraz odpływu rzek. Dane hydrometeorologiczne pochodziły ze 146 wodowskazów zlokalizowanych na 88 rzekach oraz 47 stacji meteorologicznych w Polsce. Odpływ roczny i odpływy sezonowe, z wyjątkiem zimowego, w latach 1951–2020 i w czasie ocieplenia w latach 1988–2020 wykazały na większości rzek trend malejący, a przed ociepleniem w latach 1951–1988 trend rosnący. W konsekwencji ocieplenie klimatu spowodowało na większej części obszaru Polski, z wyjątkiem zlewni karpackich, zmniejszenie odpływu rocznego i sezonu letniego maksymalnie o 15–20%, a w sezonie wiosennym i jesiennym o 10–15%. Odpływ sezonu zimowego w tym czasie wzrósł w zlewniach górskich o 10%, a na północnym wschodzie nawet o 30%. Ocieplenie klimatu wpłynęło także na strukturę sezonową odpływu rzek w całym kraju, zwiększając udział odpływu zimowego, a zmniejszając odpływu letniego. Zmniejszenie udziału odpływu wiosennego wyraźnie zaznaczyło się w zlewniach o najbardziej surowych warunkach klimatycznych, na północnym wschodzie kraju. Stwierdzone prawidłowości zmian odpływu wskazują, że w warunkach ocieplenia klimatu możliwa jest transformacja reżimu odpływu, szczególnie odmiany niwalnej, oraz zmiana struktury bilansu wodnego i wysokości zasobów wodnych w Polsce.

**Słowa kluczowe:** zmiany klimatu, tendencje zmian, temperatura powietrza, odpływ rzek, sezonowość

## Wprowadzenie

W warunkach zmian klimatu, zwłaszcza silnego wzrostu temperatury powietrza, zmienia się również sposób zasilania rzek i wielkość zasobów wód powierzchniowych. W różnych warunkach środowiskowych, a zwłaszcza klimatycznych, zmiany te mają różny charakter i mogą cechować się odmiennymi przestrzennymi i czasowymi prawidłowościami. Badania klimatologów wskazują na ocieplenie w Polsce w drugiej połowie XX wieku, szczególnie obserwowane w latach 80. i 90. (Fortuniak i in., 2001; Kożuchowski, Żmudzka, 2001, 2002; Kożuchowski, 2004a). Wśród przyczyn ocieplenia wymieniane są czynniki solarne, a przede wszystkim cyrkulacyjne związane z nasileniem strefowej, zachodniej cyrkulacji atmosferycznej i rozwojem nad Polską południowej składowej cyrkulacji. Badania wieloletnich tendencji opadów atmosferycznych świadczą zazwyczaj o braku istotnego statystycznie trendu wysokości opadów (Żmudzka, 2002; Kożuchowski, 2004b). Autorzy zwracają jednocześnie uwagę na nadmiar opadów w latach 60. i 70. i niedostatek w latach 50. w stosunku do średniej wieloletniej 1951–2000. Kożuchowski (2004b) zauważa istotną korelację sum opadów letnich i zimowych ze średnią temperaturą powietrza, co sprawia, że z postępującym ociepleniem obserwuje się wzrost opadów w czasie cieplejszych zim, ich spadek natomiast podczas gorących lat.

Literatura dotycząca wieloletnich zmian odpływu rzek Polski nie zawiera jednoznacznych wniosków co do czasowej i przestrzennej zmienności. Zmiany warunków odpływu w drugiej połowie XX wieku były przedmiotem wielu badań (m.in. Fal, Bogdanowicz, 2002; Jokiel, Bartnik, 2001; Wrześniński, 2009). Wykryte przez autorów tendencje odpływu rzek w Polsce wskazują na wielokierunkowość zaobserwowanych zmian oraz możliwość przestrzennego ich zróżnicowania. Z badań rzek karpackich wynika brak statystycznie istotnych tendencji wysokich przepływów w drugiej połowie XX wieku (Soja, 2002; Kasina i in., 2007). Natomiast zmiany przepływów charakterystycznych rzek w północno-wschodniej Polsce w latach 1951–1990 wskazują na istotny statystycznie wzrost ich przepływów, głównie w latach 1971–1990, przy jednoczesnym braku istotnych tendencji zmian opadów (Byczkowski, Mandes, 1996).

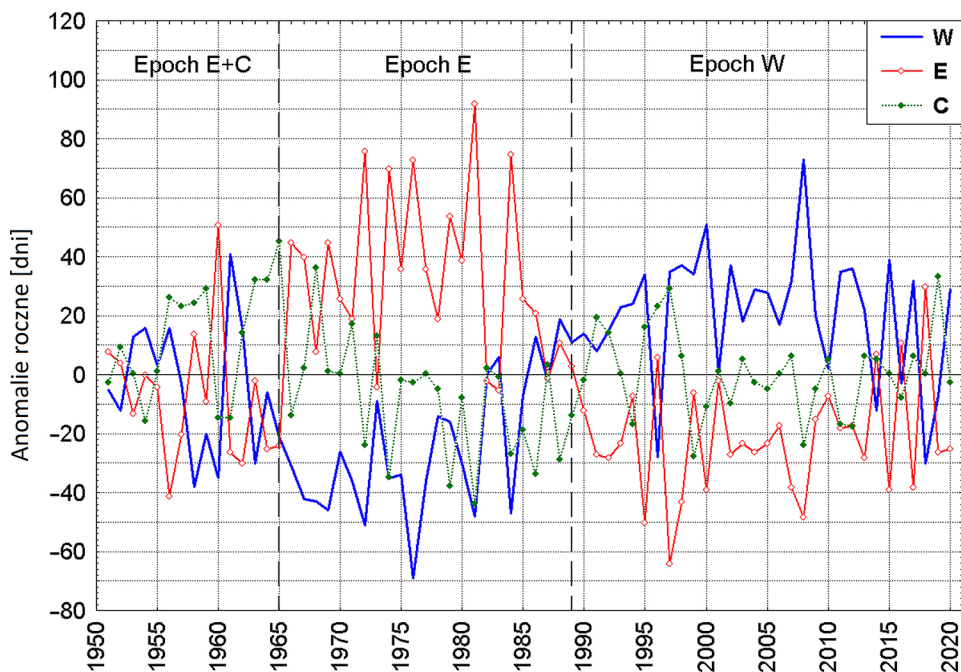
Rzeki o podobnych, znacząco mniejszych antropogenicznych zmianach warunków odpływu reprezentują także podobne regiony fizycznogeograficzne. Świadczyć to może o większym znaczeniu warunków klimatycznych w modyfikacji cech reżimu odpływu, a przestrzenne zróżnicowanie wynika z lokalnej zmienności odpływu i warunków środowiskowych zlewni. Potwierdzeniem klimatycznych uwarunkowań zmian reżimu odpływu w okresie zimowo-wiosennym może być obserwowany na wielu rzekach wyraźny spadek odpływów zimowych i opóźniony wzrost roztopowego odpływu wiosennego w latach 50. i 60. XX wieku. Z kolei w latach 70. i 80. na rzekach tych obserwuje się zanik niżówek zimowych związany z wyraźnym wzrostem odpływu zimowego, niekiedy wydłużającego niższe wezbranie wiosenne (Wrześniński, 2021). Prawidłowości te wskazują na zaznaczający się wpływ zmian natężenia makroskalowego typu cyrkulacji powietrza, jakim jest Oscylacja Północnoatlantycka, na transformacje cech reżimu odpływu

rzek w Polsce (Wrzesiński, 2011; Wrzesiński, Paluszkiwicz, 2011; Wrzesiński, Sobkowiak, 2018).

Położenie Polski w środkowowschodniej Europie powoduje wpływ zarówno klimatu kontynentalnego, jak i oceanicznego na czynniki odpowiedzialne za odpływ rzek. Polska ze względu na zróżnicowane warunki środowiskowe charakteryzuje się dużą zmiennością przestrzenną opadów atmosferycznych i temperatury powietrza nawet w skali lokalnej. Ma to też swoje przełożenie na zróżnicowane warunki odpływu rzek w zlokalizowanych obok siebie zlewniach (Wrzesiński, 2013). Silne klimatyczne uwarunkowania wysokości odpływu sprawiają, że obserwowane współcześnie zmiany klimatu prowadzić będą do transformacji wielkości odpływu rzecznoego w Polsce, jego reżimu, a w konsekwencji do zmian zasobów wodnych, które w Polsce należą do jednych z najmniejszych w Europie (Gutry-Korycka i in., 2014). W latach 1901–2015 wyraźnie zaobserwowano kilkuletnie okresy wysokich odpływów (1937–1943, 1977–1982 oraz 1997–2002). Natomiast niskie odpływy wystąpiły w latach 1932–1937, 1989–1993, a także 2003–2006. Po serii lat z wysokim odpływem pojawiał się często rok o bardzo niskich odpływach (np. 1943, 1984, 1990, 2004, 2012). Jednak okresy o odpływie wyższym niż przeciętny trwają znacznie krócej niż okresy o relatywnie niskich odpływach (Michalczyk, 2017). Średnia roczna objętość odpływu w latach 1901–2007 wynosiła  $61,5 \text{ km}^3$  (Fal, Bogdanowicz, 2002). Najniższy odpływ wystąpił w 1954 roku ( $37,6 \text{ km}^3$ , 61% odpływu średniego), a najwyższy –  $89,9 \text{ km}^3$  – w roku 1981 (146% odpływu średniego). Przepływy rzek wyższe od średnich najdłużej trwały od 1994 do 2001. Zwraca się ponadto uwagę na dużą zmienność czasową odpływu rzecznoego w okresie wieloletnim, a rok 1964 uznaje się za rok, w którym nastąpiła gwałtowna zmiana wielkości odpływu, z okresu posusznego w wilgotny. Za przyczynę tej zmiany uznawany jest wzrost opadów atmosferycznych spowodowany długookresowymi przeobrażeniami cyrkulacji atmosfery. Najnowsze badania trendów przepływów 99 rzek w latach 1956–2016 wskazują na silny składnik losowy, niewielkie zmiany i brak przestrzennych prawidłowości (Piniewski i in., 2018).

W wielu badaniach hydrologicznych konsekwencji zmian klimatu wskazuje się rok 1988 jako umowny termin zmian czynników klimatycznych, m.in. wzrostu temperatury, osłonecznienia, spadku wilgotności względnej powietrza czy zmiany struktury zachmurzenia, a tym samym termin potencjalnych zmian elementów bilansu wodnego i procesów hydrologicznych (Marsz, Styszyńska, 2021a, b; Marsz i in., 2022). Za główną przyczynę tych zjawisk podaje się zmianę warunków makrocyrkulacyjnych, które w ciągu ostatnich 70 lat zmieniły się dwukrotnie – rycina 1 (Marsz, Styszyńska, 2022; Wrzesiński i in., 2022).

W latach 1965–1966 nastąpiło przejście z epoki E+C do epoki E, a w latach 1989–1990 z epoki E do epoki W (ryc. 1). Po roku 1988 obecność makrotypu E silnie spadła poniżej średniej wartości wieloletniej, natomiast strefowy makrotyp W wzrósł, przekraczając wartości średniej wieloletniej. Udział makrotypu C spadł niewiele poniżej średniej. Widoczne zmiany struktury makrotypów między konkretnymi epokami wymuszają równoczesne zmiany w poszczególnych parametrach klimatycznych, a tym samym cyrkulacji atmosferycznej czy struktur



Ryc. 1. Przebieg frekwencji anomalii rocznych poszczególnych makrotypów cyrkulacji środkowotroposferycznej (W, E i C) w latach 1951–2020, według klasyfikacji Wangengejma-Girsa (Wrzeziński i in., 2022). Makroforma W – adwekcja z kierunku zachodniego, makroformy południkowe: E – adwekcja z kierunku południowego, C – adwekcja z kierunku północnego (Marsz i in., 2021b)

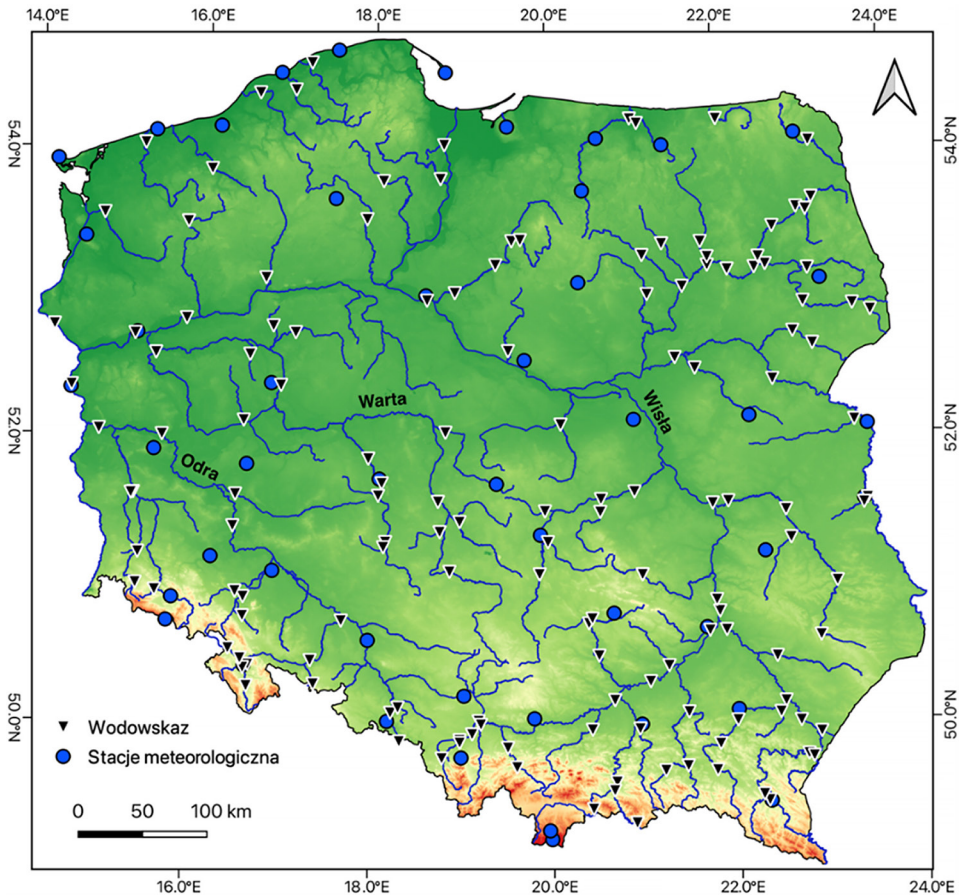
Fig. 1. Frequency of annual anomalies of particular macrotypes of mid-tropospheric circulation (W, E and C) in the years 1951–2020, according to the Wangengejma-Girs classification (Wrzeziński et al., 2022). Macroform W – advection from a westerly direction, meridional macroforms: E – advection from the southern direction, C – advection from the northern direction (Marsz et al., 2021b)

pogody. Radykalne zmiany w systemie makrotypów prowadzą do modyfikacji elementów klimatycznych i hydrologicznych. Przyczyniają się do wzrostu temperatury powietrza i zwiększenia parowania, co powoduje zmiany w bilansie wodnym, m.in. w odpływie rzek (Wrzeziński i in., 2022). Temperatura powietrza w latach 1951–1988 wykazała ujemny, statystycznie nieistotny trend malejący. Gdy w latach 1987–1989 doszło do zmiany epok cyrkulacyjnych z E na W, wyraźnie zmieniły się też charakterystyki temperatury powietrza, a jej trend w latach 1988–2020 był dodatni i bardzo istotny statystycznie ( $p < 0,01$ ). Przestrzenne i czasowe zróżnicowanie odpływu rzecznoego w Polsce silnie uwarunkowane jest klimatycznie, jednak najsilniejsze zmiany warunków i zasilania, i sezonowości odpływu, a w konsekwencji destabilizacji reżimu następują w wyniku działalności człowieka (Wrzeziński, 2013). Jednak obserwowane od końca ubiegłego wieku silne zmiany warunków klimatycznych, głównie temperatury powietrza, prowadzić będą także do zmian środowiska hydrologicznego i struktury bilansu wodnego kraju.

Celem pracy było ustalenie wpływu ocieplenia klimatu na czasowo-przestrzenne zmiany i strukturę sezonową odpływu rzek w Polsce w latach 1951–2020, ze szczególnym uwzględnieniem warunków przed zmianą klimatu (1951–1988) i po (1988–2020). W badanym wieloleciu 1951–2020 określono tendencje zmian odpływów rocznych i sezonowych, ich statystyczną istotność oraz odchylenia wysokości odpływu po zmianie klimatu względem okresu poprzedzającego.

## Dane i metody badań

Wykorzystane w pracy dane hydrometeorologiczne pochodzą z wodowskazów i stacji meteorologicznych (ryc. 2) równomiernie rozmieszczonych w Polsce i reprezentują wszystkie główne regiony klimatyczne i hydrologiczne.



Ryc. 2. Lokalizacja stacji wodowskazowych i meteorologicznych w Polsce  
Fig. 2. Location of water gauges and meteorological stations in Poland



W pracy wykorzystano serie rocznych i sezonowych odpływów rzek w latach 1951–2020. Materiał źródłowy, dobowe przepływy rzek oraz wysokość opadów atmosferycznych i temperatury powietrza, został pobrany ze zbiorów Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW – PIB) dla 146 stacji wodowskazowych i 47 stacji meteorologicznych, umiejscowionych na terenie Polski (ryc. 2).

W celu ustalenia wieloletnich zmian badanych zmiennych hydrometeorologicznych oraz ich istotności statystycznej wykorzystano:

### Metodę oceny tendencji wieloletnich – regresji liniowej

$$y = ax + b \quad (1)$$

gdzie:

- $y$  – wartości zmiennych zależnych,
- $x$  – kolejny rok,
- $a$  – współczynnik kierunkowy regresji,
- $b$  – stała bazy.

Statystyczną istotność współczynnika kierunkowego, a zatem i istotność wykrytych tendencji zmian, zweryfikowano za pomocą testu pozwalającego stwierdzić, czy otrzymana zależność różni się istotnie od wartości  $a=0$ . Statystycznej oceny istotności współczynników korelacji  $r$  aproksymanty trendu dokonano za pomocą statystyki  $t$ :

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2)$$

gdzie:

- $r$  – współczynnik korelacji liniowej,
- $n$  – liczba elementów ciągu.

Statystyka  $t$  ma rozkład *Studenta* z  $n-2$  stopniami swobody.

Współczynnik korelacji liniowej Pearsona ( $r$ ) obliczono ze wzoru:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_{ij} - \bar{Z}_j)(Z_{ik} - \bar{Z}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_{ij} - \bar{Z}_j)^2 \sum_{i=1}^n (Z_{ik} - \bar{Z}_k)^2}}, \quad (i = 1, 2 \dots n) \quad (3)$$

Z tablic statystycznych odczytano wartość krytyczną  $t$  dla  $n-2$  stopni swobody dla trzech poziomów istotności  $p=0,05$ ,  $p=0,01$  i  $p=0,001$ .

### Różnice odpływów rzek oraz test ich istotności

Różnice sezonowych i rocznych odpływów obliczono między latami 1951–1988 i 1988–2020. Istotność statystyczną tych różnic badano testem  $T$  dla prób niezależnych. Każdorazowo testowano hipotezę  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  o równości wartości



oczekiwanych, przeciwko  $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ . Odrzucenie hipotezy pozwala wnioskować o istotnych różnicach średnich wartości odpływów rzecznych obserwowanych po zmianie klimatu i przed. Statystyka  $T$  ma rozkład Studenta, przy  $n_1+n_2-2$  stopniach swobody:

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}} \quad (4)$$

gdzie:

- $\bar{X}_1 - \bar{X}_2$  – średnie z próby, a  $S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}$  wynosi:

$$S_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \times \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right) \quad (5)$$

gdzie:

- $n_1, n_2$  – liczebność prób,
- $S_1^2, S_2^2$  – wariancje próbowe.

### Wskaźnik zmian odpływów rzek

W celu określenia zmian wysokości odpływu rzek po zmianie klimatu (w latach 1988–2020) względem okresu 1951–1988 obliczono wskaźnik zmian:

$$S_{\bar{X}_{1988-2020} - \bar{X}_{1951-1988}} = \frac{\bar{X}_{1988-2020} - \bar{X}_{1951-1988}}{\bar{X}_{1951-1988}} \times 100 \quad (6)$$

gdzie:

- $\bar{X}_{1988-2020}, \bar{X}_{1951-199}$  – średnie wartości odpływu w wyróżnionych podokresach wielolecia 1951–2020.

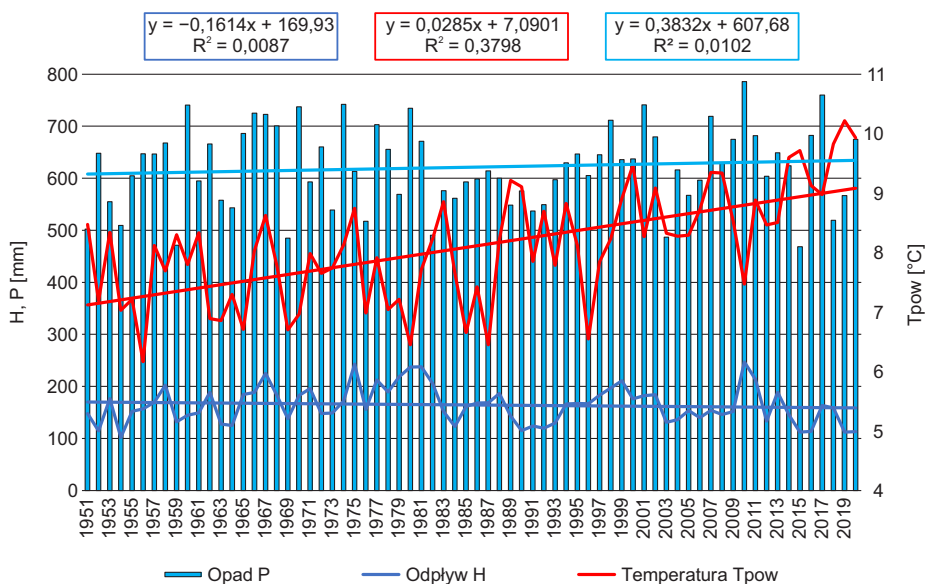
Obliczony wskaźnik wyraża procentowy wzrost lub spadek wysokości odpływu w okresie po zmianie klimatu (1988–2020) w stosunku do jego wysokości w okresie przed zmianą klimatu (1951–1988).

## Wyniki

### Zmiany przeciętnych elementów hydrometeorologicznych

Analiza tendencji zmian średnich rocznych opadów atmosferycznych, temperatury powietrza i odpływu rzek w Polsce w latach 1951–2020 wykazała, że jedynie średnia roczna temperatura powietrza wykazuje istotny statystycznie wzrost ( $p < 0,001$ ). Statystycznie nieistotny wzrost stwierdzono w przypadku rocznych sum opadów atmosferycznych, natomiast przeciętny odpływ w Polsce wykazał

nieistotny statystycznie spadek (ryc. 3). W pierwszym podokresie (1951–1988), przed zmianą klimatu, przeciętny odpływ przejawiał istotny statystycznie trend rosnący ( $p < 0,05$ ), któremu towarzyszył nieistotny trend rosnący opadów i malejący temperatury powietrza. Szczególnie wilgotne były lata 60. i 70., gdy występowały zarówno wyższe opady, jak i odpływy. Po zmianie klimatu w latach 1988–2020 temperatura powietrza zaczęła wykazywać istotny wzrost ( $p < 0,01$ ), co przy nieistotnym statystycznie wzroście opadów atmosferycznych spowodowało malejącą tendencję zmian odpływu rzecznego.



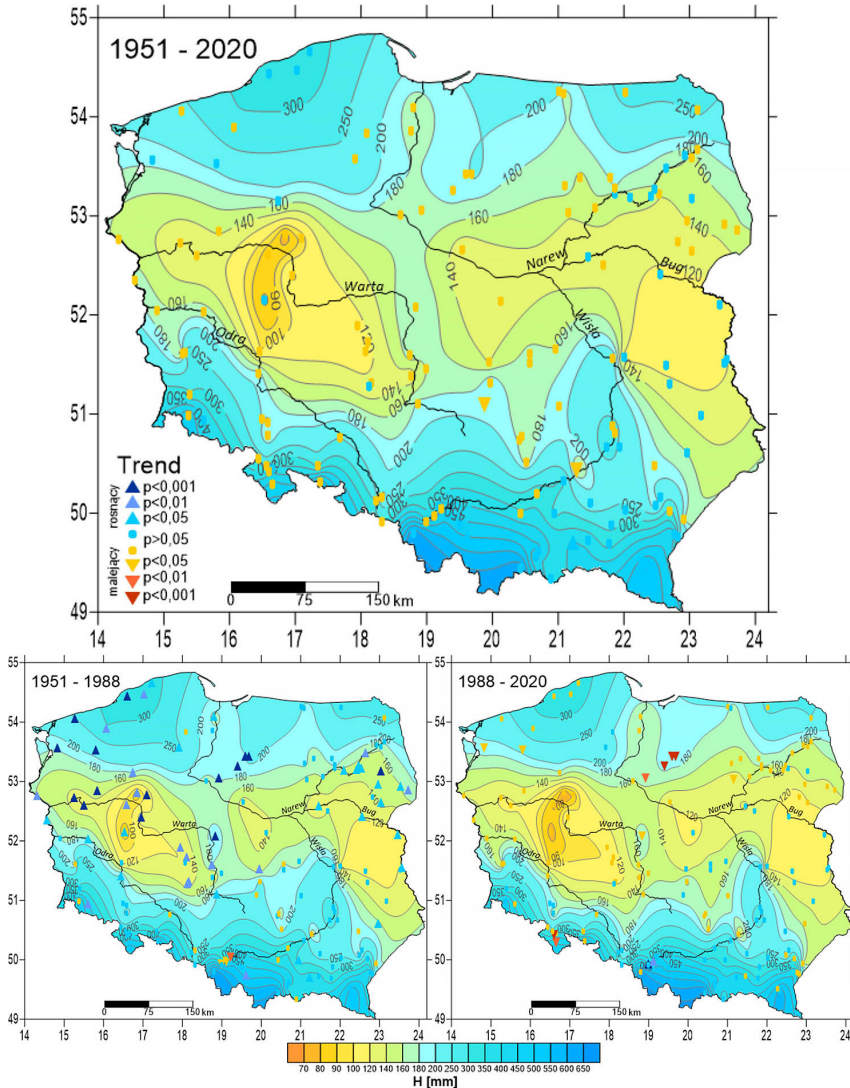
Ryc. 3. Tendencje zmian przeciętnych wartości temperatury powietrza, opadów atmosferycznych i odpływów rzek w wieloletnim okresie 1951–2020

Fig. 3. Trends of changes in air temperature, precipitation and river runoff in the multi-year period 1951–2020

Wysokość odpływów, zarówno rocznego, jak i sezonowych, silnie dodatnio skorelowana jest z wysokością opadów. Dotyczy to zarówno całego wieloletnia 1951–2020, jak i badanych podokresów. Związek odpływu z temperaturą powietrza jest słabszy i zazwyczaj odwrotnie proporcjonalny. W czasie wyższych temperatur odpływ maleje. Tak jest zarówno w przypadku odpływu rocznego, jak i odpływów sezonowych, z wyjątkiem zimy, gdy wyższy odpływ obserwuje się w czasie łagodnych i cieplejszych zim. Istotne związki korelacyjne między tymi zmiennymi występują zimą, latem i jesienią. Brak istotnych korelacji wiosną wynika zapewne ze wzrostu odpływu roztopowego. Po roku 1988 szczególnie istotne zależności ( $p < 0,05$ ) z temperaturą powietrza zaobserwowano jedynie w przypadku odpływu rocznego, natomiast odpływy sezonowe, zwłaszcza zimowy i letni, wykazały z temperaturą powietrza związki statystycznie nieistotne.

## Wysokość i tendencje zmian odpływu

Zasilanie zlewni rzecznych uwarunkowane jest zarówno przez czynnik klimatyczny – cyrkulację atmosferyczną, jak i środowiskowy, głównie rzeźbę i budowę geologiczną, co sprawia, że odpływ rzeczny na terenie kraju wykazuje duże różni-



Ryc. 4. Rozkład przestrzenny odpływu i tendencje jego zmian w Polsce w wieloletnim okresie 1951–2020 i w okresach przed ociepleniem klimatu (1951–1988) i po (1988–2020)

Fig. 4. Spatial distribution of runoff and trends of its changes in Poland in the multi-year period 1951–2020 and in the periods before (1951–1988) and after climate warming (1988–2020)

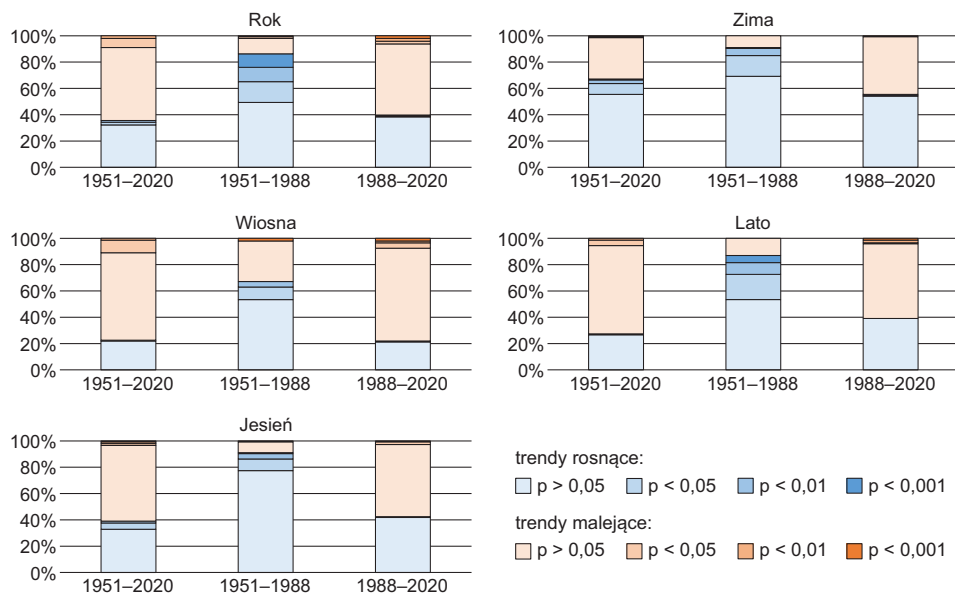
cowanie przestrzenne, nawiązujące do charakterystycznego, równoleżnikowego przebiegu izohips i izohiet – rycina 4 (Wrzeziński, 2013).

Rozkład przestrzenny odpływu przeciętnego z lat 1951–2020, jak i z dwóch analizowanych podokresów jest bardzo podobny. Wysokimi odpływami wyróżniają się zlewnie górskie (>500 mm), a najwyższymi (>1500 mm) zlewnie tatrzańskie.

Rzeki przedgórzia karpackiego charakteryzują się odpływami rzędu 200–500 mm. Wysokimi odpływami (300–400 mm) wyróżniają się także rzeki Przymorza, a nieznacznie mniejszymi (200–300 mm) rzeki pojezierne. Rzeki wyżyn w Małopolsce, Przedgórzia Sudeckiego i górna Odra po Ścinawę cechują się przeciętnymi odpływami od 150 do 200 mm. Natomiast niskimi odpływami odznaczają się rzeki nizin środkowopolskich (<150 mm), z czego najmniejsze, poniżej 100 mm, obserwuje się w Wielkopolsce i na Kujawach.

Odpływ rzeczny ulega wahaniom sezonowym związanym z rocznym cyklem zmian zasilania oraz wahaniom losowym ze względu na charakter zjawisk meteorologicznych (Wrzeziński, 2013). Zmienność odpływu z roku na rok oraz w porach roku jest znacznie większa od zmienności opadów. Największy odpływ większości polskich rzek obserwuje się wiosną. Ponad 50-procentowy udział odpływu półrocza letniego (V–X) w odpływie rocznym, wywołany intensywnym zasilaniem deszczowym, notuje się tylko w zlewniach górskich (np. Dunajca, górnej Wisły i Soły oraz Nysy Kłodzkiej).

W całym wieloleciu 1951–2020 odpływ rzek w Polsce nie uległ istotnym zmianom (ryc. 5). Na większości wodowskazów (>60%) odpływ roczny małał,



Ryc. 5. Udział trendów o określonej istotności (p) odpływów rocznych i sezonowych w latach 1951–2020

Fig. 5. Share of trends of specific significance (p) of annual and seasonal outflows in the years 1951–2020

a w przypadku 10% malał istotnie statystycznie ( $p < 0,05$ ). Słabe, rosnące trendy odpływu rocznego stwierdzono dla większości zlewni karpackich oraz Narwi i Bugu. Ujemne, ale także statystycznie mało istotne tendencje, wykazały odpływy w sezonie wiosennym i letnim (prawie 80% wodowskazów) i jesiennym (60%). Jedynie odpływ w sezonie zimowym z większości zlewni (65%) wykazał tendencję rosnącą, z czego 10% statystycznie istotną. Odmienne trendy stwierdzono w przypadku analizy odpływu w dwóch podokresach: 1951–1988 i 1988–2020. Przed ociepleniem klimatu, w latach 1951–1988, w ponad 80% zlewni odnotowano wzrost odpływu rocznego, w połowie z nich statystycznie istotny. Rosnące trendy wykazały także odpływy sezonowe, najbardziej istotne w sezonie letnim. Silne tendencje rosnące zaobserwowano w odniesieniu do odpływu rzek wielkopolskich, przymorskich i pojeziernych oraz zlewni Narwi i Bugu. W okresie dużego ocieplenia w latach 1988–2020 sytuacja się zmieniła. Odpływy roczne, wiosenne, letnie i jesienne w większości rzek (>60%) malały, podczas gdy odpływ zimowy wykazał trend rosnący. Zarówno trendy malejące, jak i rosnące odpływu były zazwyczaj statystycznie nieistotne i stwierdzono je na rzekach w różnych regionach kraju. Silny malejący trend ( $p < 0,01$ ) wykazał jedynie odpływ ze zlewni Drwęcy oraz górnej Nysy Kłodzkiej.

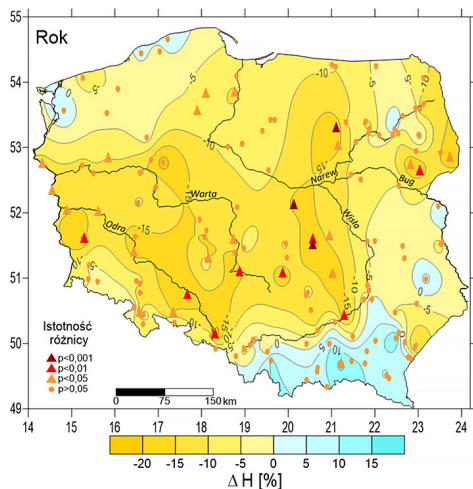
W wieloleciu 1951–2020 na większości rzek odnotowano nie tylko tendencję rosnącą odpływu zimowego, ale także udziału odpływu zimowego w odpływie rocznym. Taką prawidłowość przejawiało 95% badanych zlewni, z czego w ponad 30% były to trendy statystycznie istotne. Z kolei trendy udziału odpływu wiosennego, letniego i jesiennego w latach 1951–2020 większości rzek maleją i zaobserwowano to odpowiednio w 90%, 78% i 58% badanych zlewni. W przeciwieństwie do wysokości odpływów sezonowych tendencje zmian ich udziałów w odpływie rocznym w podokresach 1951–1988 i 1988–2020 są niemal jednakowe. Wyjątek stanowi udział odpływu letniego, który w latach 1951–1988 wykazywał tendencję rosnącą (70% zlewni), a w czasie ocieplenia w latach 1988–2020 – tendencję malejącą (60% zlewni).

## Zmiany odpływu w okresie ocieplenia 1988–2020

Przeciętny odpływ roczny w latach 1988–2020, w porównaniu z wieloleciem 1951–1988, w większości badanych rzek był niższy. Maksymalne ujemne odchylenia wahają się od 10 do 20% i dotyczą głównie zlewni środkowej Polski. W przypadku 20% zlewni stwierdzone różnice okazały się statystycznie istotne ( $p < 0,05$ ) – rycina 6. W okresie silnego ocieplenia nieznacznie wyższe odpływy notowano ze zlewni karpackich dopływów Wisły, maksymalnie o 10–16% w przypadku zlewni Skawy, Ropy i Wiśłoki. Jednak tylko zmiany odpływu rocznego Ropy okazały się statystycznie istotne ( $p < 0,05$ ). Najmniejsze różnice odpływów, poniżej 5%, wystąpiły w przypadku rzek Przymorza, Pojezierza Pomorskiego, górnej Wisły, wschodnich dopływów Wisły środkowej oraz środkowego biegu Narwi i Biebrzy.

Rozkład przestrzenny zmian odpływów sezonowych, z wyjątkiem zimowego, nie odbiega znacząco od prawidłowości stwierdzonych w przypadku odpływu rocznego (ryc. 7). W sezonie zimowym wyższymi o ponad 10% odpływami



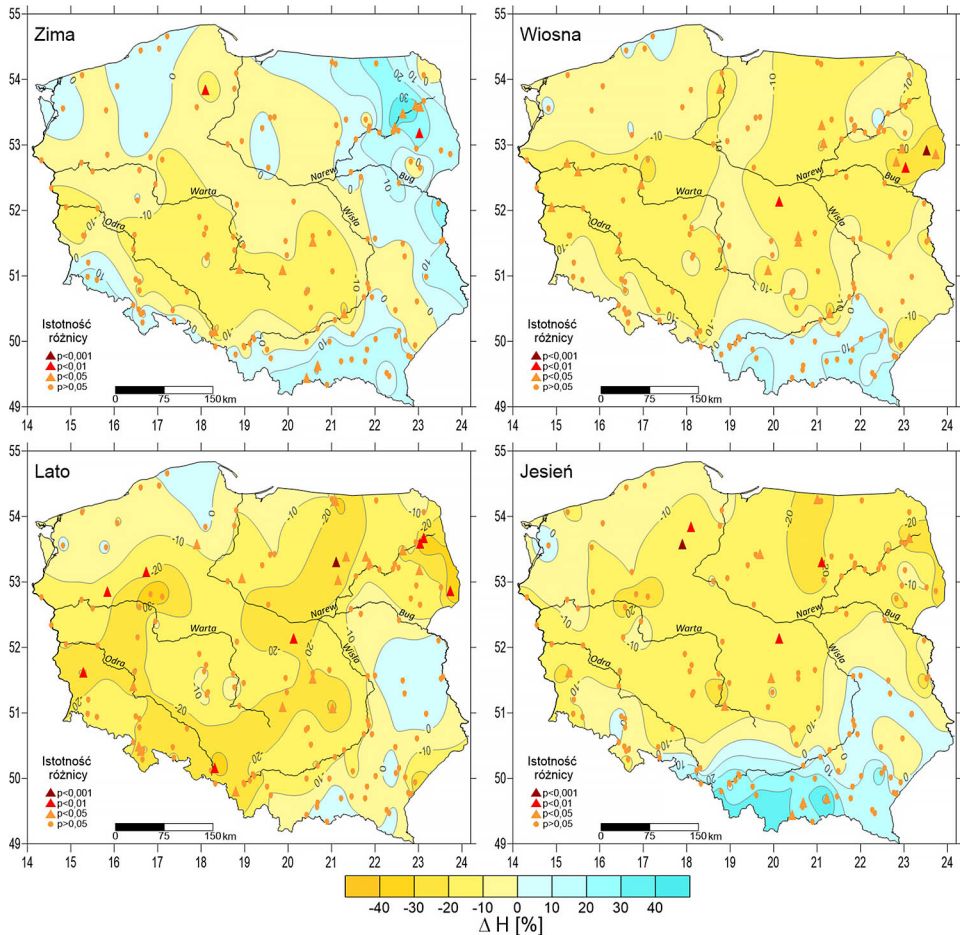


Ryc. 6. Zmiany odpływu rocznego po ociepleniu (1988–2020) względem okresu 1951–1988 i ich statystyczna istotność  
Fig. 6. Changes in annual outflows after warming (1988–2020) in relation to the period 1951–1988 and their statistical significance

dopływie Bugu. Różnice w odpływach tych rzek są też najbardziej istotne statystycznie ( $p < 0,01$ ). Istotnie zmniejszył się ponadto odpływ wiosenny w większych systemach hydrograficznych, np. środkowej Odry, środkowej i dolnej Warty oraz Pilicy ( $p < 0,05$ ). Jeszcze większe ujemne odchylenia stwierdzono w przypadku zmian odpływu w sezonie letnim. W okresie ocieplenia po roku 1988 odpływ większości polskich rzek zmniejszył się o 20%, a lokalnie nawet o ponad 25%. Szczególnie istotne zmiany stwierdzono w odpływie letnim rzek w północno-wschodniej części kraju, w zlewni Narwi, ale także Noteci z Gwdą. W latach 1988–2020 odpływ jesienny większości rzek był mniejszy, zazwyczaj o 10–20%, a różnice nie tak istotne jak w sezonie letnim. Zwraca uwagę wzrost odpływu wiosennego, nawet o ponad 20%, w niektórych zlewniach karpackich. Istotne statystycznie zmiany dotyczą jednak tylko odpływu górnego Dunajca i Ropy ( $p < 0,05$ ).

Ocieplenie klimatu w latach 1988–2020 znacząco wpłynęło na strukturę odpływu rzek w Polsce. Udział odpływu zimowego w odpływie rocznym wzrósł w większości analizowanych rzek, jednak w największym stopniu, o ponad 6%, w zlewniach północno-wschodniej Polski charakteryzujących się szczególnie surowym klimatem. Zaobserwowane zmiany są też najbardziej istotne statystycznie ( $p < 0,001$ ). W regionie tym z kolei w największym stopniu zmniejszył się udział odpływu wiosennego od 2 do 6%. Na pozostałym obszarze zmiany udziału odpływu wiosennego są mniejsze od 2% i zazwyczaj statystycznie nieistotne. W większości polskich rzek zmniejszył się też udział odpływu letniego. Największe i najbardziej istotne statystycznie ujemne zmiany udziału odpływu

charakteryzują się głównie zlewnie górskie w Sudetach i Karpatach oraz zlewnie na wschodzie Polski. W okresie ocieplenia najsilniej, o ponad 30%, wzrósł odpływ Biebrzy. Różnice w odpływach zimowych dopływów Narwi: Biebrzy i Supraśli są też najbardziej istotne statystycznie (odpowiednio  $p < 0,05$  i  $p < 0,01$ ). Na pozostałym obszarze w okresie ocieplenia 1988–2020 odpływ w sezonie zimowym jest zazwyczaj nieznacznie mniejszy, o około 10%, a najbardziej istotne ujemne różnice wykazał jedynie odpływ górnej Warty, Pilicy i Czarnej ( $p < 0,05$ ) oraz Wdy ( $p < 0,01$ ). W sezonie wiosennym odpływ w większości regionów kraju zmniejszył się, z wyjątkiem zlewni karpackich i przymorskich. Największe ujemne zmiany wiosennego odpływu, o ponad 20%, stwierdzono na północnym wschodzie kraju, w zlewni górnej Narwi z Narewką oraz rzeki Nurzec,



Ryc. 7. Zmiany odpływów sezonowych po ociepleniu (1988–2020) względem okresu 1951–1988 i ich statystyczna istotność

Fig. 7. Changes in seasonal outflows after warming (1988–2020) in relation to the period 1951–1988 and their statistical significance

letniego stwierdzono w zlewni Narwi i Biebrzy oraz zlewni górnej Wisły i górnej Odry z Nysą Kłodzką. Zmiany udziału odpływu jesiennego są najmniejsze i statystycznie nieistotne. W zlewniach środkowej i północnej Polski udział ten maleje, a w zlewniach wyżynnych i karpacczych nieznacznie rośnie.

## Wnioski

Zmiany klimatu są jednymi z głównych czynników wpływających na wysokość i strukturę sezonową odpływu rzek w Polsce. Badania objęły wieloletnie 1951–2020 z podziałem na dwa podokresy: 1951–1988 i 1988–2020, a rok 1988 uznano



za umowny termin zmian warunków termicznych. Po roku 1988 zaobserwowano silne, dodatnie trendy temperatury powietrza i nieistotnie statystycznie opadów atmosferycznych oraz ujemną tendencję zmian odpływu rzecznego. Ocieplenie klimatu istotnie wpłynęło na zmiany zachodzące w procesach i zjawiskach hydrologicznych. Wyniki badań wskazują, że:

1. Odpływ roczny i odpływy sezonowe, z wyjątkiem zimowego w latach 1951–2020 i w czasie ocieplenia w latach 1988–2020, wykazały na większości rzek trend malejący, a przed ociepleniem w latach 1951–1988 trend rosnący.
2. Ocieplenie klimatu spowodowało na większości obszaru Polski, z wyjątkiem zlewni karpackich, zmniejszenie odpływu rocznego i odpływu w sezonie letnim maksymalnie o 15–20% , a w sezonie wiosennym i jesiennym o 10–15%.
3. Odpływ sezonu zimowego w okresie ocieplenia klimatu wzrósł w zlewniach górskich o 10%, a na północnym wschodzie nawet o 30%.
4. W latach 1988–2020 zmieniła się struktura sezonowa odpływu rzek w całym kraju. Zwiększył się udział odpływu zimowego, a zmniejszył odpływu letniego. Zmniejszenie udziału odpływu wiosennego wyraźnie zaznaczyło się w zlewniach o najbardziej surowych warunkach klimatycznych, na północnym wschodzie kraju.
5. Stwierdzone prawidłowości zmian odpływu wskazują, że w warunkach ocieplenia klimatu możliwa jest transformacja reżimu odpływu, zwłaszcza odmiany niwalnej, oraz zmiana struktury bilansu wodnego i wysokości zasobów wodnych w Polsce.

## Literatura

- Byczkowski A., Mandes B., 1996, Badanie zmienności chronologicznych ciągów średnich i minimalnych przepływów rzek w północno-wschodniej Polsce, *Wiadomości Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej*, 11(1): 133–146.
- Fal B., Bogdanowicz E., 2002, Zasoby wód powierzchniowych Polski, *Wiadomości Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej*, 25: 3–38.
- Fortuniak K., Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, Trendy i okresowość zmian temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku, *Przegląd Geofizyczny*, 46(4): 283–303.
- Gutry Korycka M., Sadurski A., Kundzewicz Z.W., Pociąg Karteczka J., Skrzypczyk L., 2014, Zasoby wodne a ich wykorzystanie, *Nauka*, 1: 77–98.
- Jokiel P., Bartnik A., 2001, Zmiany w sezonowym rozkładzie odpływu w Polsce środkowej w wieloletiu 1951–1998, *Wiadomości Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej*, 14(2): 3–16.
- Kasina M., Pociąg-Karteczka J., Nieckarz Z., 2007, Tendencje występowania wysokich przepływów w dorzeczu Dunajca w II połowie XX wieku, *Folia Geographica, Series Geographica Physica*, 35–36: 5–36.
- Kożuchowski K., 2004a, Skala i tendencje współczesnych zmian temperatury powietrza w Polsce, [w:] K. Kożuchowski (red.), *Skala uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, Łódź, s. 25–46.

- Kożuchowski K., 2004b, Zmienność opadów atmosferycznych w Polsce w XX i XXI wieku, [w:] K. Kożuchowski (red.), Skala uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce, Łódź, s. 47–58.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, Ocieplenie w Polsce: skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku, *Przegląd Geofizyczny*, 46(1–2): 81–90.
- Kożuchowski K., Żmudzka E., 2002, Cyrkulacja atmosferyczna i jej wpływ na zmienność temperatury powietrza w Polsce, *Przegląd Geograficzny*, 74(4): 591–604.
- Marsz A.A., Matuszko D., Styszyńska A., 2022, The thermal state of the North Atlantic and macro-circulation conditions in the Atlantic-European sector, and changes in sunshine duration in Central Europe, *International Journal of Climatology*, 42: 748–761.
- Marsz A.A., Sobkowiak L., Styszyńska A., Wrzesiński D., 2022, Causes and course of climate change and its hydrological consequences in the Greater Poland region in 1951–2020, *Quaestiones Geographicae*, 41(3): 183–206.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2021a, Inercja rocznego odpływu całkowitego rzek Polski względem międzyrocznej zmienności przebiegu elementów klimatycznych, *Badania Fizjograficzne*, 12, A, 72: 159–179.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2021b, Zmiany usłonecznienia rzeczywistego w Polsce i ich przyczyny (1966–2018), *Prace Geograficzne*, 165: 23–52.
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2022, Proces ocieplenia w Polsce – przebieg i przyczyny (1951–2018). Przejaw wewnętrznej dynamiki systemu klimatycznego czy proces antropogeniczny?, *Prace i Studia Geograficzne*, 67: 51–82.
- Michalczyk Z., 2017, Odpływ średni, zmienność w czasie i zróżnicowanie przestrzenne, [w:] P. Jokieli, W. Marszelewski, J. Pociask-Karteczka (red.), *Hydrologia Polski*. PWN, Warszawa, s. 153–160.
- Piniewski M., Marcinkowski P., Kundzewicz Z.W., 2018, Trend detection in river flow indices in Poland, *Acta Geophysica*, 66: 347–360.
- Soja R., 2002, Hydrologiczne aspekty antropopresji w Polskich Karpatach, *Prace Geograficzne IGIPZ PAN*, 186: 130–135.
- Wrzesiński D., 2009, Tendencje zmian przepływu rzek Polski w drugiej połowie XX wieku, *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, 60: 147–160.
- Wrzesiński D., 2011, Regional differences in the influence of the North Atlantic Oscillation on seasonal river runoff in Poland, *Quaestiones Geographicae*, 30(3): 127–136.
- Wrzesiński D., 2013, *Entropia odpływu rzek w Polsce*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Wrzesiński D., 2018, Typologia reżimu odpływu rzek w Polsce w różnych fazach Oscylacji Północnoatlantyckiej, *Badania Fizjograficzne*, 9, A, 69: 265–278.
- Wrzesiński D., 2021, Flow Regime Patterns and Their Changes, [w:] M. Zeleňáková, K. Kubiak-Wójcicka, A.M. Negm (red.), *Management of Water Resources in Poland*, Springer, s. 163–180.
- Wrzesiński D., Marsz A.A., Sobkowiak L., Styszyńska A., 2022, Response of low flows of Polish rivers to climate change in 1987–1989, *Water*, 14: 2780.
- Wrzesiński D., Paluszkiwicz R., 2011, Spatial differences in the impact of the North Atlantic Oscillation on the flow of rivers in Europe, *Hydrology Research*, 42(1): 30–39.
- Wrzesiński D., Sobkowiak L., 2018, Detection of changes in flow regime of rivers in Poland, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 66, 1: 55–64.
- Żmudzka E., 2002, O zmienności opadów atmosferycznych na obszarze Polski nizinnej w drugiej połowie XX wieku, *Wiadomości Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej*, 25(46), 4: 23–38.

## **Impact of climate warming on river runoff in Poland in 1951–2020**

**Abstract:** The study analyzed in detail the impact of climate warming on the height, trends of change and seasonal structure of river outflow in Poland. The study covered the multi-year period 1951–2020, divided into two sub-periods 1951–1988 and 1988–2020, and 1988 was considered the conventional date for changes in thermal conditions. The study used series of annual and seasonal averages of air temperature, precipitation and river runoff. Hydro-meteorological data came from 146 water gauges located on 88 rivers and 47 meteorological stations in Poland. Annual runoff and seasonal runoff, except for winter runoff, showed a decreasing trend on most rivers during the 1951–2020 period and during the 1988–2020 warming, and an increasing trend before the 1951–1988 warming. As a result, climate warming has reduced annual and summer season runoff in most of Poland, with the exception of the Carpathian catchments, by a maximum of 15–20%, and by 10–15% in the spring and autumn seasons. Winter season runoff, meanwhile, has increased in mountain catchments by 10%, and in the northeast by up to 30%. Climate warming is also affecting the seasonal structure of river runoff across the country by increasing the share of winter runoff and decreasing summer runoff. The decrease in the share of spring outflow was clearly marked in the catchments with the most severe climatic conditions, in the northeast of the country. The observed patterns of outflow changes indicate that under the conditions of a warming climate it is possible to transform the outflow regime, especially of the nival variety, and change the structure of the water balance and the height of water resources in Poland.

**Keywords:** climate change, change trends, air temperature, river runoff, seasonality

*Adrian Nowacki*

**Sekcja Geoinformacji  
Studenckiego Koła Naukowego Geografów  
im. Stanisława Pawłowskiego UAM w Poznaniu**

# **Ocena powiązania wskaźnika NDVI z temperaturą powierzchni terenu dla Wolińskiego Parku Narodowego i Międzyzdrojów**

**Zarys treści:** Wykorzystanie danych satelitarnych jest aktualnie nierozłącznym elementem monitorowania środowiska i zachodzących w nim zmian. Obrazy satelitarne są wykorzystywane między innymi w meteorologii, hydrologii oraz rolnictwie i są podstawowym źródłem danych służącym do mierzenia temperatury powierzchni ziemi, a także analizy stanu upraw za pomocą wskaźnika NDVI. Celem projektu była ocena powiązania wskaźnika NDVI z temperaturą powierzchni terenu, z uwzględnieniem pokrycia powierzchni wpływającego na wartości obu zmiennych dla Wolińskiego Parku Narodowego i miasta Międzyzdrojów. Dla Wolińskiego Parku Narodowego korelacja ta wyniosła  $-0,42$ , dla Międzyzdrojów natomiast  $-0,72$ , co oznacza znacznie lepszą zależność temperatury powierzchni terenu od wartości wskaźnika NDVI dla obszaru badanego miasta. Wartości wskaźnika NDVI są wyższe dla terenów charakteryzujących się niskimi wartościami temperatury powierzchni, co jest bardzo widoczne nawet dla tak małego miasta, jakim są Międzyzdroje.

**Słowa kluczowe:** NDVI, temperatura powierzchni terenu, zagospodarowanie terenu, zobrazowanie satelitarne, korelacja

## **Wstęp**

Wraz z postępem technologicznym systemów teledetekcyjnych rozwinęło się spektrum wykorzystania satelitów w wielu różnych dziedzinach. Oprócz ich podstawowego zastosowania w nawigacji satelitarnej, dane zbierane przez satelity służą do dokładnej obserwacji Ziemi. Obrazy satelitarne są wykorzystywane w meteorologii czy hydrologii – służąc jako podstawa do analizy stanu atmos-

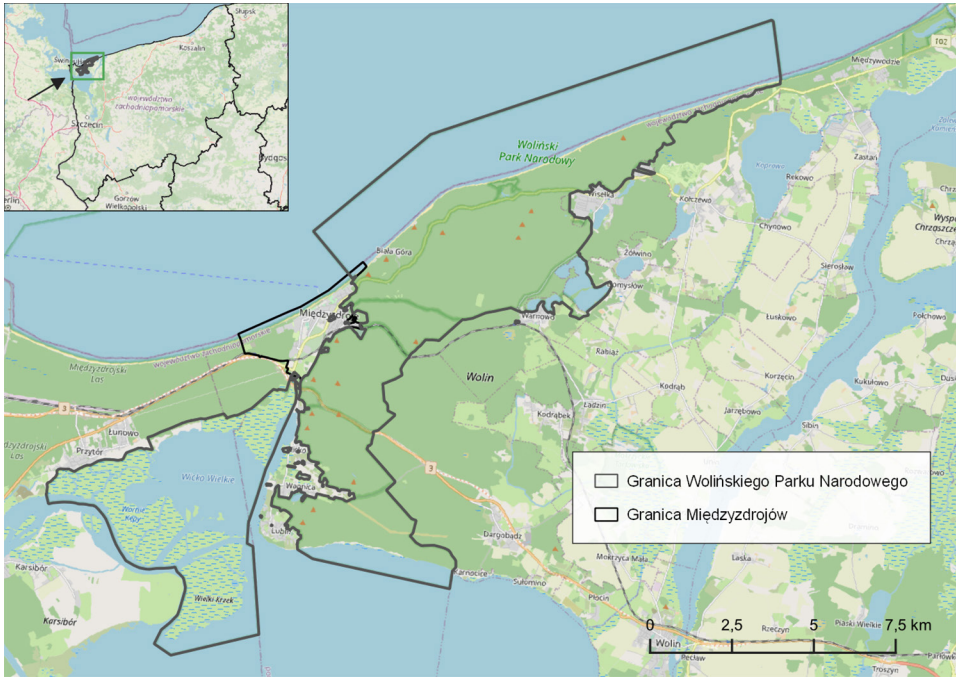
fery, badania wilgotności gleby lub mierzenia temperatury powierzchni terenu (ang. *Landsat Surface Temperature*, LST). Poszczególne kanały spektralne obrazów satelitarnych pozyskiwanych w ramach programu Landsat pozwalają na obserwację ekstremalnych upałów i klęsk żywiołowych (usgs.gov), a także badanie miejskiej wyspy ciepła, z wykorzystaniem do tego kanału termalnego (Liu, 2011). Jednym z pozostałych, bardzo istotnych z punktu widzenia rolnictwa zastosowań obrazów satelitarnych, jest możliwość monitorowania stanu roślinności i upraw, z użyciem wskaźnika NDVI (ang. *Normalized Difference Vegetation Index*) – ustandaryzowanej miary pozwalającej określić kondycję roślinności oraz jej stan rozwojowy (Rouse i in., 1974).

Wartość wskaźnika NDVI oraz temperatury powierzchni terenu LST jest uzależniona od typów pokrycia i zagospodarowania terenu – ścisła zabudowa miejska lub rozległe obszary zielone w znaczny sposób różnią się przyjmowanymi wartościami obu wskaźników (Yuan, 2007). Temperatura powierzchni terenu (LST) jest odwrotnie proporcjonalna do wartości wskaźnika NDVI, niezależnie od pór roku (Guha, 2020).

Celem pracy była statystyczna ocena powiązania znormalizowanego różnicowego wskaźnika wegetacji (NDVI) z temperaturą powierzchni terenu (LST) dla Wolińskiego Parku Narodowego i miasta Międzyzdrojów, z uwzględnieniem zagospodarowania terenu jako dodatkowego czynnika wpływającego na poszczególne wartości obu badanych zmiennych.

## Obszar badań

Woliński Park Narodowy jest zlokalizowany w województwie zachodniopomorskim, na największej polskiej wyspie – Wolin. Park charakteryzuje się obfitą różnorodnością pokrycia terenu, w tym głównie lasów, które zajmują niemal 45% powierzchni z około 110 km<sup>2</sup>. Graniczy z Międzyzdrojami – małym, turystycznym miastem, zajmującym 4,5 km<sup>2</sup>. Daje to dość kontrastowy, pod względem potencjalnych różnic temperatury powierzchni oraz wartości wskaźnika NDVI, obszar zieleni bezpośrednio sąsiadujący z zabudową miejską. Uwarunkowaniem wpływającym w największym stopniu na odwrotną proporcjonalność wartości badanych zmiennych jest duże zróżnicowanie zagospodarowania terenu, które według CLC18 (European Union. *Copernicus Land Monitoring Service* 2018) dzieli się na 15 klas pokrycia terenu: zabudowę miejską luźną, tereny sportowe i wypoczynkowe, łąki i pastwiska, złożone systemy upraw i działek, tereny zajęte głównie przez rolnictwo z dużym udziałem roślinności naturalnej, lasy liściaste, lasy iglaste, lasy mieszane, murawy i pastwiska naturalne, lasy i roślinność krzewiastą w stanie zmian, bagna śródlądowe, ciekі, zbiorniki wodne, laguny przybrzeżne oraz morze i ocean. Obszar badań (ryc. 1) został wybrany do analizy z uwagi na możliwość prezentacji wyrazistych różnic wartości wskaźnika NDVI oraz temperatury powierzchni, ze względu na bliskie sąsiedztwo lasów, obszarów wodnych, zabudowy miejskiej oraz bagien śródlądowych, które charakteryzują się różną ilością pochłanianego promieniowania słonecznego (Solecki i in., 2005).



Ryc. 1. Obszar badań zaprezentowany na podkładzie mapowym OpenStreetMap  
 Źródło: opracowanie własne.

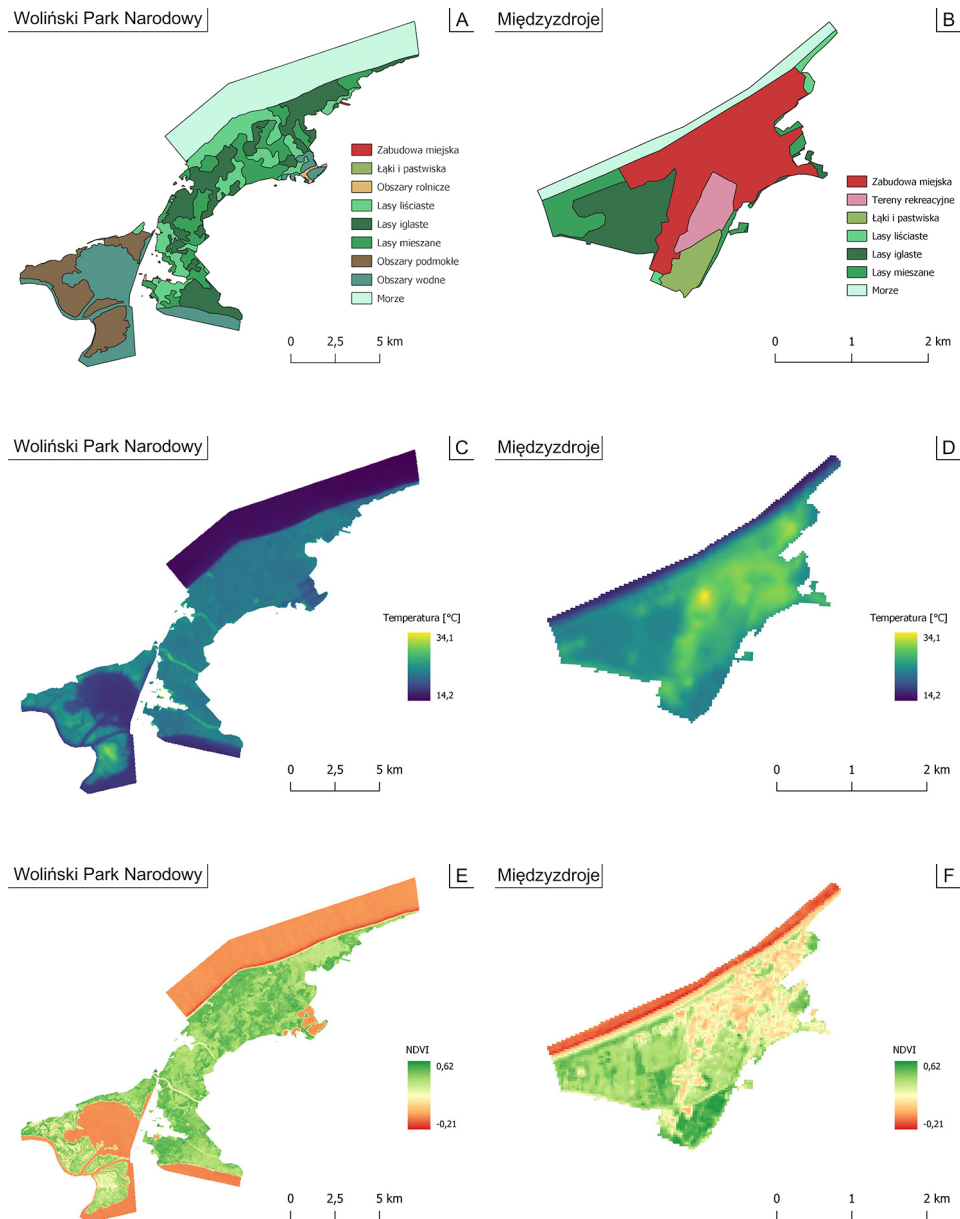
Fig. 1. Research area presented on OpenStreetMap map background

## Źródła danych i metody przetwarzania

### Źródła danych

Analiza wykorzystująca wskaźnik NDVI oraz temperaturę powierzchni terenu (LST) została przeprowadzona w oparciu o zobrazowanie satelitarne z programu Landsat 8, prowadzonego przez dwie amerykańskie instytucje: Narodową Agencję Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (ang. *National Aeronautics and Space Administration, NASA*) oraz Służbę Geologiczną Stanów Zjednoczonych (ang. *United States Geological Survey, USGS*). Zobrazowanie satelitarne pozyskano dla dnia 24 czerwca 2022 roku – wówczas na badanym obszarze występowała temperatura powietrza wynosząca 27°C (ekologia.pl). Zobrazowanie charakteryzowało się rozdzielczością 30 × 30 m i wymiarami około 170 × 183 km (Acharya, 2015). Pochodziło ono z zasobów Landsat kolekcji 2 poziomu 1 (ang. *Collection 2, Level 1*) – wybór ten pozwolił na wykorzystanie w analizie dokładniejszych danych w porównaniu do kolekcji 1, bez korekcji atmosferycznej (usgs.gov). W analizie posłużono się łącznie trzema kanałami spektralnymi – czerwonym (ang. *Band 4 – Red*), bliskiej podczerwieni (ang. *Band 5 – Near Infrared, NIR*) oraz kanałem termalnym 10 (ang. *Band 10 – Thermal Infrared 1, TIRS 1*).





Ryc. 2. Podział na kategorie pokrycia terenu (A i B) oraz rozkład przestrzenny temperatury powierzchni terenu (C i D) i wskaźnika NDVI (E i F) dla Wolińskiego Parku Narodowego i Międzyzdrojów  
 Źródło: opracowanie własne.

Fig. 2. Division on land cover categories (A and B) and spatial distribution of land surface temperature (C and D) and NDVI index (E and F) for the Wolin National Park and Międzyzdroje



Dane o zagospodarowaniu terenu pozyskano z projektu *CORINE Land Cover CLC2018* (European Union. Copernicus Land Monitoring Service, 2018), realizowanego w ramach programu *Copernicus Land Monitoring*, będącego częścią ogólnego projektu *Copernicus*. Pokrycie terenu zostało podzielone na 10 kategorii (ryc. 2): zabudowę miejską, tereny rekreacyjne, łąki i pastwiska, obszary rolnicze, lasy liściaste, iglaste i mieszane, obszary podmokłe oraz obszary wodne i morze. Podział ten różni się od oryginalnego podziału *CLC2018*, aby uniknąć szczegółowości – nieistotnego statystycznie zagospodarowania terenu o znikomej powierzchni. Dwie ostatnie kategorie zostały wydzielone jako osobne w celu przedstawienia różnic statystyk wód zewnętrznych i wód wewnętrznych, do których zaliczają się jeziora, cieki i laguny przybrzeżne, mające bardzo zbliżone wartości w przypadku badanych zmiennych. Miasto Międzyzdroje obejmowało 6 kategorii pokrycia terenu (ryc. 2B), Woliński Park Narodowy charakteryzował się natomiast 9 kategoriami – wszystkimi, z wyłączeniem terenów rekreacyjnych (ryc. 2A). W celu wyliczenia średniej temperatury powierzchni i średniej wartości wskaźnika NDVI, a także korelacji obu zmiennych dla całego terenu WPN i Międzyzdrojów, obszar morza oraz wód wewnętrznych nie został wliczony do analizy.

Do wizualizacji wykorzystano również ogólnodostępne dane pochodzące z projektu *OpenStreetMap* (OSM) – serwisu internetowego obejmującego darmowe dane przestrzenne dla całego świata, tworzone przez zarejestrowanych użytkowników (*OpenStreetMap Contributors*, 2022). Były to wyłącznie granice administracyjne miasta Międzyzdrojów oraz Wolińskiego Parku Narodowego.

## Temperatura powierzchni terenu oraz wskaźnik NDVI

Wartości temperatury powierzchni terenu zostały uzyskane na podstawie szeregu obliczeń wykorzystujących kanał termalny 10 (ang. *Band 10 – Thermal Infrared 1*, TIRS 1). Wyszczególnienie temperatury powierzchni wymagało obliczenia kilku składowych: promieniowania widmowego górnej atmosfery (ang. *Top of Atmospheric Spectral Radiance*, TOA), temperatury promieniowania (ang. *Brightness Temperature*, TB), emisyjności powierzchni ziemi (ang. *Land Surface Emissivity*, LSE) oraz prognozy wartości znormalizowanego różnicowego wskaźnika wegetacji NDVI (Rajeshwari, 2014). Wszystkie wymienione składowe, z wyłączeniem prognozy wartości wskaźnika NDVI, korzystają ze stałych, zdefiniowanych wartości, udostępnianych w pliku obejmującym metadane pozyskanego obrazu satelitarnego. Obliczenia zostały wykonane w środowisku R – języku programowania przeznaczonego głównie do statystyki i analizy danych (*R Core Team*, 2022), przy użyciu pakietu zewnętrznego *terra* (Hijmans, 2022), pozwalającego na analizę danych rastrowych. Szczegółowa metodyka obliczania temperatury powierzchni terenu została opisana przez Rajeshwari (2014).

Wskaźnik NDVI to najpopularniejszy indeks wegetacyjny, stosowany w badaniu ilości biomasy i zawartości chlorofilu w roślinności oraz uprawach. Poprzez ustandaryzowane wartości od  $-1$  do  $1$  pozwala określić stan rozwojowy rośliny oraz jej kondycję. Im wyższe wartości wskaźnika, tym roślina jest zdrowsza i bardziej zielona (Wang i in., 2004). NDVI bazuje na różnicy pomiędzy największym

odbiciem bliskiej podczerwieni i największej absorpcji światła czerwonego – do jego obliczenia wykorzystuje się zatem dwa kanały spektralne: czerwony (ang. *Band 4 – Red*) oraz bliskiej podczerwieni (ang. *Band 5 – Near Infrared*, NIR). Obliczenia NDVI zostały wykonane w środowisku R, również za pomocą pakietu *terra*.

## Wyniki badań

### Charakterystyka wartości NDVI i temperatury powierzchni terenu w Wolińskim Parku Narodowym oraz Międzyzdrojach

Na rycinie 2 zaprezentowano mapy przedstawiające rozkład przestrzenny temperatury powierzchni (ryc. 2C, D) oraz wskaźnika NDVI (ryc. 2E, F), a także przyjęty podział na kategorie pokrycia terenu (ryc. 2A, B), w celu wizualnej oceny przestrzennego rozmieszczenia obu zmiennych w zależności od zagospodarowania terenu. Na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego temperatura powierzchni wyniosła od 14,2°C do 32°C, ze średnią 22,8°C. Najcieplejszym miejscem okazał się teren na wyspie Wielki Krzek na Zalewie Szczecińskim, w południowo-zachodniej części parku, gdzie znajdują się bagna śródlądowe. Najzimniejszym natomiast – rozległy pas morza, którego wartości nie zostały wliczone do pomiaru średniej temperatury. Interesującymi miejscami wysokiej temperatury są trzy pasy przebiegające w poprzek parku – wrzosowisko, droga E65 oraz linia kolejowa. Nie wliczając obszaru wód, najniższa temperatura powierzchni terenu w przypadku WPN wynosi 18,1°C.

W granicach Międzyzdrojów temperatura powierzchni wynosiła wówczas od 15,8°C do 34,1°C, średnia natomiast 26,3°C. Najcieplejszym miejscem okazał się obszar stadionu miejskiego w centrum miasta. Pozostałe wysokie temperatury odnotowano na osiedlach mieszkalnych, resortów, dyskontów handlowych oraz na terenie stacji elektroenergetycznej. Najniższa odnotowana temperatura powierzchni dla Międzyzdrojów, bez wliczenia wód, wyniosła 20,6°C.

Na obu analizowanych obszarach wskaźnik NDVI określający stan kondycji roślin jest bardzo zróżnicowany, jednak przybiera prawie identyczny zakres, od około -0,2 do 0,6. Usunięcie obszaru morza i wód wewnętrznych powoduje widoczną zmianę wartości wskaźnika, jednak nadal bardzo zbliżoną dla obu badanych miejsc, od 0 (brak roślinności) do 0,6 (bardzo dobra kondycja roślinności) w przypadku WPN i od -0,06 do 0,6 dla Międzyzdrojów. Wizualizacja wskaźnika NDVI ukazuje dokładniejsze zobrazowanie poszczególnych elementów zagospodarowania terenu niż w przypadku wizualizacji temperatury powierzchni – intensywność odbicia promieniowania bliskiej podczerwieni wpływa na możliwość rozróżnienia roślinności, w tym przypadku rodzaju lasu, ze względu na zawartość wody w komórkach danej rośliny (Rouse i in., 1974). Z tego powodu widoczny na wschodnim wybrzeżu parku narodowego lub w południowo-zachodniej części miasta las iglasty charakteryzuje się mniejszymi od lasu liściastego wartościami znormalizowanego różnicowego wskaźnika wegetacji (tab. 1).

Tabela 1. Statystyki opisowe wartości temperatury powierzchni terenu oraz wskaźnika NDVI dla poszczególnych kategorii pokrycia terenu

Table 1. Descriptive statistics of land surface temperature and NDVI index values for particular land cover categories

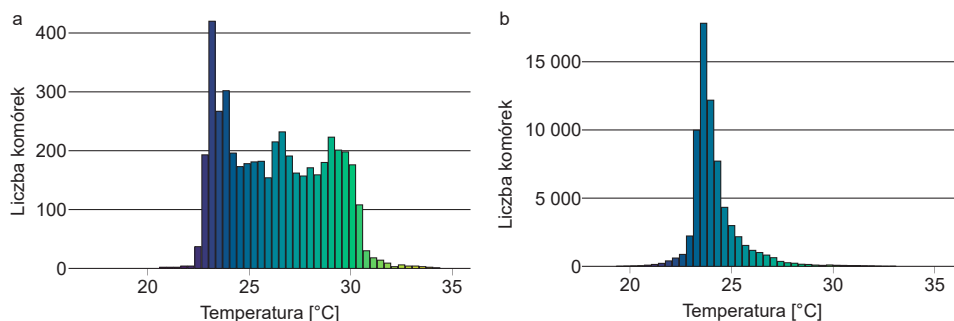
Pokrycie terenu	Min. NDVI	Średnie NDVI	Maks. NDVI	Min.tem-peratura	Średnia temperatura	Maks.tem-peratura	Liczba komórek
zabudowa miejska	-0,07	0,24	0,60	21,7	27,8	34,1	2708
tereny sportowe i rekreacyjne	0,07	0,36	0,59	24,5	26,7	29,3	440
łąki i pastwiska	0,01	0,50	0,62	22,3	23,9	29,3	355
bagna śródlądowe	-0,11	0,37	0,59	18,2	23,6	31,1	14 494
las iglaste	-0,04	0,40	0,58	19,4	22,8	28,2	22 718
las mieszane	-0,06	0,45	0,61	19,5	22,5	29,9	16 264
las liściaste	-0,15	0,48	0,61	18,4	22,3	29,9	16 174
obszary rolnicze	-0,05	0,42	0,56	19,9	22,0	27,9	456
obszary wodne	-0,19	-0,02	0,57	16,6	18,3	24,0	20 573
morze	-0,23	-0,04	0,54	14,2	15,3	23,9	31 117

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku WPN najniższymi wartościami NDVI odznaczają się te same obszary, których powierzchnia ma największą temperaturę, czyli bagna śródlądowe. Najwyższe wartości przyjmują natomiast wspomniane lasy liściaste, a także łąki i pastwiska. Dla Międzyzdrojów niskie NDVI przyjmuje ścisła zabudowa miejska w centrum miasta. Dość wysokim wskaźnikiem vegetacji charakteryzują się natomiast tereny rekreacyjne z domkami letniskowymi i ogródkami działkowymi oraz obszary roślinne w kierunku południowo-zachodnim od centrum.

Rozkład wartości temperatury powierzchni terenu dla obu miejsc zaprezentowany jest na histogramach (ryc. 3). Ukazują one liczbę komórek o rozdzielczości  $30 \times 30$  m w poszczególnym zakresie badanej zmiennej. W przypadku Wolińskiego Parku Narodowego najczęściej występującą wartością (niemal 18 tys. komórek) jest zakres temperatury powierzchni  $22\text{--}22,4^\circ\text{C}$  (ryc. 3A). Rozkład danych przyjmuje postać unimodalną symetryczną, rozległą wartościami w stronę wyższej temperatury – świadczy to o przeważaniu temperatury powierzchni w zakresie  $21\text{--}24^\circ\text{C}$ , z równomiernym jej wzrostem dla coraz mniejszej liczby komórek. Międzyzdroje natomiast charakteryzują się najczęstszą temperaturą powierzchni terenu w zakresie od 23 do  $23,4^\circ\text{C}$ , występującym ponad 400 razy (ryc. 3B). Rozkład danych przyjmuje postać symetryczną, z krótkimi ogonami po obu stronach – świadczy to o dość równomiernym rozkładzie temperatury w zakresie  $24\text{--}30^\circ\text{C}$ . Dla WPN obszary przekraczające granicę  $30^\circ\text{C}$  wynoszą jedynie 0,15% jego powierzchni ( $0,094 \text{ km}^2$ ), natomiast w przypadku Międzyzdrojów jest to 6,6% powierzchni miasta ( $0,283 \text{ km}^2$ ).

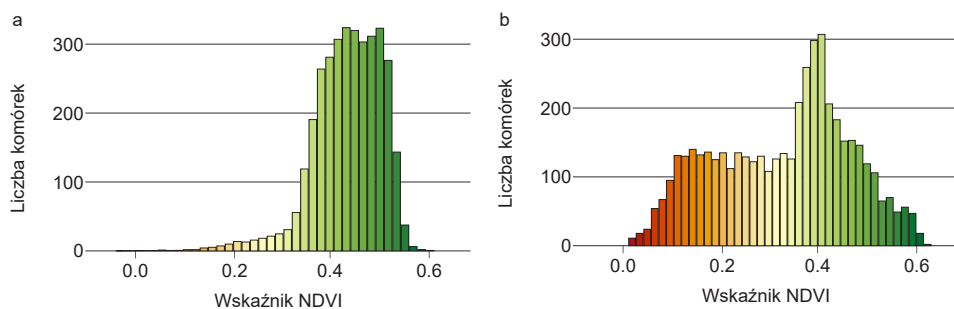
Rozkład wartości znormalizowanego różnicowego wskaźnika vegetacji (NDVI) przedstawiono na rycinie 4. Najczęściej wartości wskaźnika NDVI na



Ryc. 3. Histogram rozkładu wartości temperatury powierzchni terenu dla: A – Wolińskiego Parku Narodowego, B – Międzyzdrojów  
Źródło: opracowanie własne.

Fig. 3. Histogram of land surface temperature distribution for: A – Wolin National Park, B – Międzyzdroje

obszarze Wolińskiego Parku Narodowego utrzymują się w granicach 0,4–0,5, co świadczy o występowaniu roślinności zielonej w dobrej kondycji (ryc. 4A) – w tym zakresie mieści się również średnia wartość, wynosząca 0,43.



Ryc. 4. Histogram rozkładu wartości wskaźnika NDVI dla: A – Wolińskiego Parku Narodowego, B – Międzyzdrojów  
Źródło: opracowanie własne.

Fig. 4. Histogram of NDVI index values distribution for: A – Wolin National Park, B – Międzyzdroje

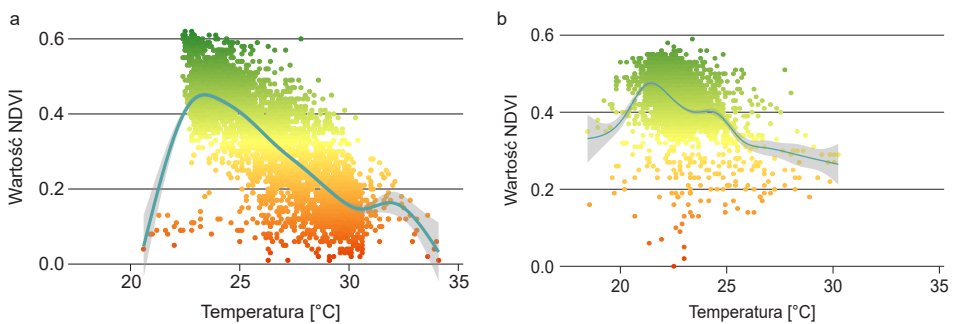
Rozkład danych jest lewoskośny – wartości wskaźnika NDVI poniżej 0,3 występują zdecydowanie rzadziej od pozostałych. Dominantą dla Międzyzdrojów są wartości około 0,4, ze średnią równą 0,32 (ryc. 4B). Rozkład danych charakteryzuje się symetrycznością, z wyjątkiem najczęściej występujących wartości wskaźnika NDVI w zakresie 0,35–0,5. Obszary z wartością NDVI poniżej 0,2, czyli terenami bez roślinności (obszary zabudowane, odkryta gleba), zajmują w Wolińskim Parku Narodowym 1,07% jego powierzchni (0,66 km<sup>2</sup>), natomiast w przypadku Międzyzdrojów jest to aż 23,34% powierzchni (1 km<sup>2</sup>) pozbawionej roślinności.

## Zróznicowanie wskaźnika NDVI i LST dla różnych typów zagospodarowania terenu

Dla wszystkich kategorii pokrycia terenu obliczono najważniejsze statystyki opisowe dotyczące wartości temperatury powierzchni terenu oraz wskaźnika NDVI: minimum, maksimum oraz średnią, a także łączną liczbę analizowanych komórek składających się na daną kategorię (tab. 1). Statystyki te pozwalają szczegółowo dostrzec wpływ zagospodarowania terenu na wartości obu zmiennych. Z wyjątkiem morza i wewnętrznych obszarów wodnych, najniższa wartość wskaźnika NDVI występuje na terenach objętych zabudową miejską (średnia 0,24). Na obszarach leśnych średnie wartości wahają się od 0,40 dla lasów iglastych do 0,48 dla lasów liściastych. Najwyższe temperatury powierzchni terenu odnotowano w obrębie zabudowy miejskiej – średnia wyniosła tam 27,8°C, co jest wartością wyższą od temperatury morza o niemal 14°C, a o ponad 10°C od jezior i lagun.

## Korelacja pomiędzy temperaturą powierzchni terenu LST a wskaźnikiem NDVI

Zależność dwóch badanych zmiennych przedstawiono na wykresie rozrzutu wraz z naniesioną linią trendu (ryc. 5). W celu poprawy czytelności wykresów wyszczególniono próbki danych proporcjonalne do powierzchni WPN i Międzyzdrojów, nie zmieniając jednocześnie wartości linii trendu. Korelacja pomiędzy temperaturą powierzchni terenu a wartością wskaźnika NDVI dla obszaru Wolińskiego Parku Narodowego wyniosła  $-0,42$  (ryc. 5A), co oznacza średnią zależność wskaźnika wegetacji od temperatury powierzchni (wartość  $-1$  oznaczałaby całkowitą korelację ujemną – dla całego obszaru temperatura powierzchni malałaby wraz ze wzrostem wartości wskaźnika NDVI). Dość duże zróżnicowanie zagospoda-



Ryc. 5. Wykresy rozrzutu ukazujące korelację pomiędzy temperaturą powierzchni terenu a wartościami wskaźnika NDVI dla:

A – Wolińskiego Parku Narodowego, B – Międzyzdrojów

Źródło: opracowanie własne.

Fig. 5. Scatter plots showing the correlation between land surface temperature and NDVI index values for:

A – Wolin National Park, B – Międzyzdroje

rowania terenu (9 przyjętych kategorii) oraz ogromny obszar Wolińskiego Parku Narodowego, wpływają negatywnie na wprost ujemną proporcjonalność korelacji, zwiększając jej wartość. Dla obszaru miasta Międzyzdroje regresja liniowa wyniosła  $-0,72$ , co oznacza bardzo silną korelację ujemną (ryc. 5B). Wartość ta informuje o bardzo dobrej zależności temperatury powierzchni terenu od wskaźnika NDVI. Dla Międzyzdrojów korelacja ta jest zrozumiała ze względu na mały obszar miasta oraz mniejsze zróżnicowanie zagospodarowania terenu względem WPN, obejmujące jedynie zabudowę miejską, łąki i pastwiska, tereny rekreacyjne i wypoczynkowe oraz lasy. Otrzymana ujemna korelacja temperatury powierzchni terenu ze wskaźnikiem NDVI potwierdza wcześniejsze badania Guha (2020) lub Karnieli i in. (2010), lecz na innym analizowanym obszarze oraz w innym czasie.

## Wnioski i podsumowanie

W pracy przeanalizowano ocenę korelacji wskaźnika NDVI z temperaturą powierzchni terenu dla Wolińskiego Parku Narodowego i Międzyzdrojów oraz wpływ poszczególnych kategorii zagospodarowania terenu na wartości obu badanych zmiennych, na podstawie zobrazowania satelitarnego z dnia 24 czerwca 2022 r. Wybór obu obszarów pozwolił na szczegółowe prześledzenie korelacji temperatury powierzchni terenu ze wskaźnikiem NDVI oraz zależności przestrzennej obu zmiennych dla dwóch skrajnych przypadków obejmujących małe, w większości zabudowane miasto, a także rozległe tereny zalesione Wolińskiego Parku Narodowego. Przedstawione wyniki wskazują na bardzo dobrą korelację znormalizowanego różnicowego wskaźnika wegetacji NDVI z temperaturą powierzchni terenu dla Międzyzdrojów i znacznie gorszą dla Wolińskiego Parku Narodowego. Na wartość korelacji liniowej wpłynęła głównie kilkunastokrotnie mniejsza powierzchnia miasta oraz jego małe zróżnicowanie zagospodarowania terenu. Analiza potwierdziła ujemną korelację temperatury powierzchni ze wskaźnikiem NDVI – uzyskane wyniki są zgodne m.in. z wynikami Guha (2020), udowadniającymi ujemną korelację obu zmiennych w przypadku analizy obejmującej średnią z wielu obrazów satelitarnych dla różnych pór roku. Z wyłączeniem morza oraz wód wewnętrznych, wartości temperatury powierzchni terenu są niższe dla obszarów charakteryzujących się wysokimi wartościami wskaźnika NDVI. Różnica temperatury powierzchni dla poszczególnych kategorii pokrycia terenu jest zauważalna nawet dla miasta Międzyzdroje, który zajmuje bardzo mały obszar.

Oba przeanalizowane wskaźniki (NDVI oraz temperatura powierzchni) różnicują się także ze względu na typy pokrycia terenu. Mapa przestrzennego rozkładu wskaźnika NDVI (ryc. 2E) pozwala natomiast na rozróżnienie m.in. typów lasów. Mapa przestrzennego rozkładu temperatury powierzchni terenu w Wolińskim Parku Narodowym (ryc. 2C) oraz Międzyzdrojach (ryc. 2D) pokazuje zależność między niskimi wartościami temperatury powierzchni a obszarami zielonymi oraz wodnymi. Tereny zabudowane cechują się wyższymi temperaturami powierzchni – zależność ta jest wyraźnie widoczna bez obliczania statystyk.



Powyższa analiza ukazuje, jak istotne dla redukcji miejskiej wyspy ciepła jest występowanie terenów zielonych i obszarów wodnych w miastach. W analizowanym dniu, 24 czerwca 2022 roku, średnia temperatura podłoża zabudowy miejskiej była aż o 5,5°C wyższa od temperatury lasów, w szczególności mieszanych i liściastych, zlokalizowanych jedynie kilkaset metrów od centrum miasta.

## Literatura

- Acharya T.D., Yang I., 2015, Exploring landsat 8, *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research (IJIEASR)*, 4(4): 4–10.
- Copernicus Land Monitoring Service, 2018, European Environment Agency (EEA) (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>).
- Guha S., Govil H., 2020, Land surface temperature and normalized difference vegetation index relationship: a seasonal study on a tropical city, *SN Applied Sciences*, 2(10): 1661.
- Hijmans R.J., 2022, terra: Spatial Data Analysis. R package version 1.5–21 (<https://CRAN.R-project.org/package=terra>).
- Karnieli A., Agam N., Pinker R.T., Anderson M., Imhoff M.L., Gutman G.G., ... Goldberg A., 2010, Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations, *Journal of Climate*, 23(3): 618–633, Landsat Collection 1 vs Collection 2 Summary, United States Geological Survey (<https://www.usgs.gov/media/files/landsat-collection-1-vs-collection-2-summary>; dostęp: 8.02.2023).
- Landsat Collection 2 Surface Temperature, United States Geological Survey (<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-surface-temperature>; dostęp: 8.02.2023).
- Liu L., Zhang Y., 2011, Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong, *Remote Sensing*, 3(7): 1535–1552.
- OpenStreetMap Contributors, 2022 (<https://www.openstreetmap.org/>).
- QGIS Development Team, 2022, QGIS Geographic Information System, Open Source Geospatial Foundation Project (<http://qgis.osgeo.org>).
- R Core Team, 2022, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (<https://www.R-project.org/>).
- Rajeshwari A., Mani N.D., 2014, Estimation of land surface temperature of Dindigul district using Landsat 8 data, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(5): 122–126.
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W., 1974, Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, *NASA Spec. Publ.*, 351(1): 309.
- Solecki W.D., Rosenzweig C., Parshall L., Pope G., Clark M., Cox J., Wiencke M., 2005, Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey, *Global Environmental Change*, B, 6(1): 39–49.
- Wang J., Rich P.M., Price K.P., Kettle W.D., 2004, Relations between NDVI and tree productivity in the central Great Plains, *International Journal of Remote Sensing*, 25(16): 3127–3138.
- Yuan F., Bauer M.E., 2007, Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery, *Remote Sensing of Environment*, 106(3): 375–386.



## **Assessment of relationship of NDVI index with land surface temperature for Woliński National Park and Międzyzdroje**

**Abstract:** The use of satellite data is currently inseparable element of monitoring the environment and the changes taking place in it. Satellite imagery are used, among others, in meteorology, hydrology and agriculture and are the basic source of data used to measure the temperature of the earth's surface, as well as to analyze the condition of crops using the NDVI index. The aim of the project was to assess the relationship between NDVI and land surface temperature, taking into account the land cover affecting values of both variables for Woliński National Park and Międzyzdroje. The correlation for Woliński National Park was  $-0.42$ , while for Międzyzdroje was  $-0.72$ , which means a much better dependence of land surface temperature on NDVI index values for studied town. NDVI index values are higher for areas with low values of land surface temperature, which is very noticeable even for such a small town as Międzyzdroje.

**Keywords:** NDVI, land surface temperature, land use, satellite imagery, correlation

*Milena Zięba, Julia Janus*

**Sekcja Kształtowania i Ochrony Środowiska  
Studenckiego Koła Naukowego Geografów  
im. Stanisława Pawłowskiego UAM w Poznaniu**

## **Rozpoznanie usług ekosystemowych sieci ekologicznej wyspy Wolin na podstawie pokrycia terenu i jego zmian w latach 2015–2021**

**Zarys treści:** Sieć ekologiczna wyspy Wolin stanowi ważny element tego obszaru, który odznacza się szczególnymi wartościami przyrodniczymi oraz estetycznymi, a także znaczną bioróżnorodnością w środowisku. Dzięki temu wyspa stanowi ważny ośrodek turystyczny generujący zyski dla lokalnych mieszkańców oraz przedsiębiorców. Z drugiej strony presja turystyczna, rozwój procesów urbanizacyjnych czy działalność człowieka mogą negatywnie wpływać na jakość i ilość usług ekosystemowych dostarczanych przez środowisko. W związku z tym w artykule postanowiono rozpoznać oraz przeanalizować zmienność struktury przestrzennej wyspy Wolin w latach 2015–2021, w której wyróżniono obszary leśne, wodne, rolne, zabudowane oraz inne tereny przekształcone w wyniku działalności człowieka. Przekształcenia w środowisku przyrodniczym są możliwe do oceny na podstawie zmian pokrycia i użytkowania ziemi. Z tego względu dokonano rozpoznania świadczonych usług ekosystemowych sieci ekologicznej wyspy, gdzie sieć ekologiczną rozumie się jako system połączeń pomiędzy poszczególnymi ekosystemami znajdującymi się na wyspie Wolin, które podlegają prawnej ochronie przyrody. Pozwoli to na zastosowanie w przyszłości odpowiednich narzędzi, które ograniczą negatywne zmiany w środowisku przyrodniczym wyspy Wolin.

**Słowa kluczowe:** usługi ekosystemowe, wyspa Wolin, struktura przestrzenna, urbanizacja

## Wstęp

Usługi ekosystemowe to korzyści, jakie społeczeństwo uzyskuje bezpośrednio lub pośrednio z systemów ekologicznych (Millennium Ecosystem Assessment, 2003). Ich prawidłowe rozpoznanie oraz ocena są jednym z podstawowych elementów pozwalających na zrównoważone wykorzystanie potencjału przyrody (Troy, Wilson, 2006; Mizgajski, Stępniewska, 2009). Koncepcja usług ekosystemowych opiera się na funkcjach ekosystemowych, strukturze ekologicznej oraz podstawowych procesach, które są uzależnione od bioróżnorodności (Maes i in., 2013). Funkcje ekosystemów stanowią różne kombinacje procesów, cech oraz struktur ekologicznych, wyrażające potencjał ekosystemów do świadczenia usług niezależnie od tego, czy są one przydatne dla ludzi (TEEB, 2010; Degórski i in., 2022). Usługi ekosystemowe można analizować przez pryzmat zmian pokrycia i użytkowania terenu na danym obszarze. Wiąże się to z odzwierciedleniem w pokryciu terenu podstawowych typów/grup ekosystemów, które są skorelowane ze zmianami w ilości i jakości dostarczanych usług (Maes i in., 2013; Stępniewska, 2020).

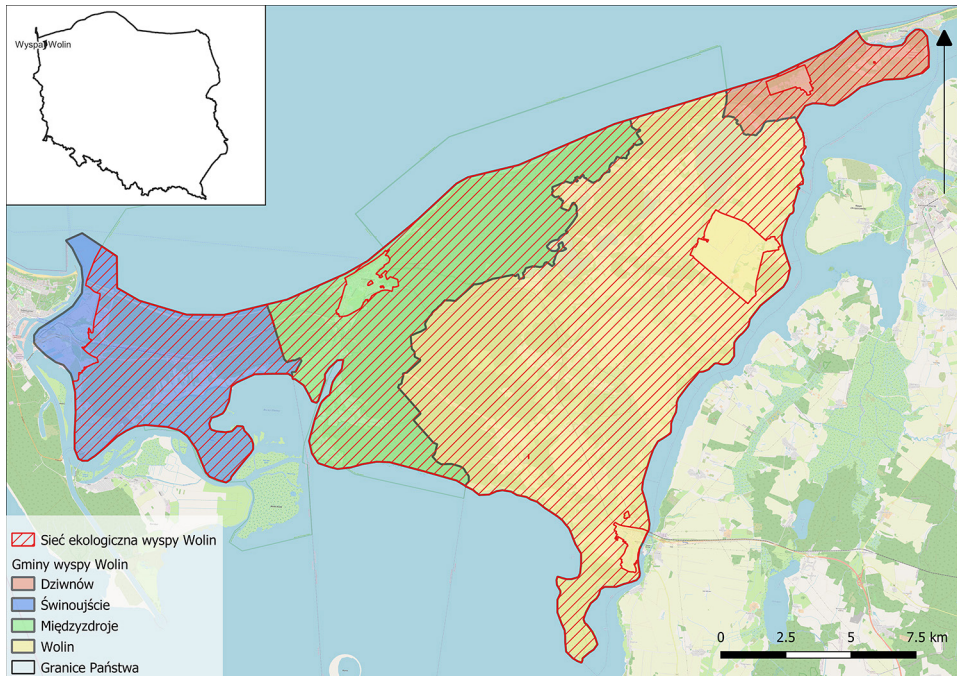
Wraz ze wzrostem tempa rozwoju społeczeństwa oraz narastającą presją antropogeniczną następują dynamiczne zmiany w składzie gatunkowym, funkcjach oraz strukturze ekosystemów. Sprawia to, że w wielu przypadkach zapotrzebowanie na określoną usługę przekracza zdolność danego ekosystemu do jej świadczenia. W konsekwencji następuje pogorszenie potencjału ekosystemów do świadczenia określonych usług ekosystemowych lub ich całkowity zanik (Hewelke, Graczyk, 2016).

Wyspa jest naturalnie uformowaną strukturą lądową otoczoną wodą, która odgrywa istotną rolę w aspektach politycznych, ekologicznych, gospodarczych oraz społecznych (Rongbo, 2004). Ponadto stanowi ważną część ekosystemu morskiego zawierającą cenne zasoby turystyczne i krajobrazowe, które przyciągają turystów i generują zyski dla lokalnych mieszkańców. Z drugiej strony obecność turystów może powodować często znaczne szkody dla środowiska naturalnego i lokalnej społeczności (np. presja na jakość i ilość wód, erozja gleb) związane z degradacją funkcji zaopatrzeniowych oraz regulacyjnych. Na tej podstawie Bater (1997) zaproponował koncepcję zrównoważonego rozwoju gospodarki przy zwróceniu uwagi na ograniczoną ilość zasobów oraz wzrostu liczby ludności (Zhao i in., 2021). Wskazane podejście może pozwolić na ograniczenie presji antropogenicznej na ekosystemy wyspiarskie, które są bardziej wrażliwe i charakteryzują się mniejszą odpornością niż obszary kontynentalne.

Celem badań było przeanalizowanie zmian w strukturze przestrzennej sieci ekologicznej wyspy Wolin w latach 2015–2021. Następnie w pracy rozpoznano usługi ekosystemowe świadczone przez sieć ekologiczną w obrębie wyspy Wolin.

## Obszar badań

Wyspa Wolin położona jest w północno-zachodniej części Polski. Powierzchnia wyspy wynosi 272 km<sup>2</sup>, natomiast sieci ekologicznej, która znajduje się w jej obrębie, 255 km<sup>2</sup>. Zgodnie z podziałem administracyjnym wyspa znajduje się w powiecie kamieńskim oraz Świnoujście, a w jej skład wchodzi gminy: Wolin, Dziwnów, Świnoujście oraz Międzyzdroje (ryc. 1).



Ryc. 1. Położenie wyspy Wolin z uwzględnieniem jej podziału administracyjnego

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych pozyskanych z serwisu: <https://gis-support.pl/baza-wiedzy-2/dane-do-pobrania/granice-administracyjne/> oraz OpenStreetMap (dostęp: 11.02.2023).

Fig 1. Location of the island of Wolin with respect to the administrative division of the island

Obszar wyspy charakteryzuje się dobrze zachowanymi formami polodowcowymi, które pozostały po ostatnim zlodowaczeniu plejstoceniowym. Ponadto wyspa posiada liczne walory krajobrazowe, takie jak np. delta Świny, kompleksy leśne, tereny bagniste, jeziora polodowcowe czy wybrzeże klifowe. Jest także bogata w walory przyrodnicze, wśród których szczególne znaczenie mają: unikalność oraz odporność flory i fauny, grupy skał ukształtowane w wyniku oddziaływania czynników zewnętrznych, wąwozy, doliny i przełomy rzeczne oraz wodospady, źródła i wywierzyska, jaskinie i grotty, głazy narzutowe i głazowiska, a także wydmy, kotły polodowcowe oraz kratery (Lijewski, 2002).

Zgodnie z badaniami Stępniewskiej (2020b), zlewnia jeziora Gardno charakteryzuje się wysokim udziałem lasów (ok. 96%), co sprawia, że zlewnia ma wysoki potencjał do świadczenia różnego rodzaju usług regulacyjnych, które wpływają m.in. na kształtowanie klimatu, poprawę jakości powietrza czy regulację obiegu biogenów. Ponadto obszar wyspy Wolin wykazuje wysoki potencjał środowiska do świadczenia regulacyjnych usług ekosystemowych (>41 pkt). Natomiast w przypadku usług zaopatrujących, wyspa Wolin oferuje niski potencjał do ich świadczenia (Majewski, Kostrzewski, 2020).

Wyspa Wolin podlega też prawnej ochronie przyrody. Na uwagę zasługują zwłaszcza: Woliński Park Narodowy, obszar Natura 2000 Wolin i Uznam (kod obszaru: PLH320019) oraz Ujście Odry i Zalew Szczeciński (kod: PLH320018), Delta Świny, Zalew Kamieński i Dziwna czy Torfowisko Uznamskie. Woliński Park Narodowy został utworzony w celu zabezpieczenia wybrzeża klifowego oraz przybrzeżnego pasa wód. Duże znaczenie dla obszaru ma Jezioro Turkusowe, które powstało w sposób sztuczny, w wyniku działalności człowieka (Żyto, 2019).

Sieć ekologiczna wyspy Wolin, która stanowi przedmiot badań, rozumiana jest jako system obszarów podlegających prawnej ochronie przyrody, które składają się z obszarów węzłowych oraz stref buforowych połączonych między sobą korytarzami ekologicznymi. W skład sieci ekologicznej wyspy wchodzi: obszary Natura 2000 (m.in. Zalew Szczeciński, Delta Świny, Zatoka Pomorska oraz Zalew Kamieński i Dziwna, Wolin i Uznam), park narodowy (Woliński Park Narodowy), rezerwat przyrody (Łuniewo oraz Nadmorski Bór Storczykowy), a także użytki ekologiczne, w tym m.in. Rosiczka, Dzicze Uroczysko czy Jelenie Błota.

Sieć ekologiczna ma kluczowe znaczenie dla ochrony przyrody, ponieważ pomaga zachować różnorodność biologiczną i funkcjonowanie ekosystemów. Co więcej, jest postrzegana jako narzędzie planowania przestrzennego, które umożliwia identyfikację oraz ochronę obszarów o wysokiej wartości przyrodniczej. Ponadto sieć ekologiczna jest ważna dla funkcjonowania ekosystemów, ponieważ pomaga utrzymać równowagę w populacjach organizmów i reguluje przepływ energii i substancji odżywczych w ekosystemie. W związku z tym zmiany w jednej części sieci mogą mieć wpływ na cały ekosystem, co może prowadzić do nieprzewidywalnych i szkodliwych skutków dla ludzi i środowiska.

## Metodologia

Analiza zmian w strukturze przestrzennej sieci ekologicznej wyspy Wolin została przeprowadzona na podstawie danych pozyskanych z Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k). Na podstawie klasyfikacji obiektów BDOT10k ([https://www.wodgik.katowice.pl/www/pobierz/wykaz\\_BDOT10k.pdf](https://www.wodgik.katowice.pl/www/pobierz/wykaz_BDOT10k.pdf), dostęp: 12.02.2023) wyodrębniono 6 głównych typów pokrycia terenu: wody powierzchniowe, tereny zabudowane, tereny leśne, tereny rolne, sieć komunikacyjną oraz inne obszary (grunt nieużytkowany, plac, składowisko odpadów, wyrobiska i zwałowiska). Dane zawierające informacje o pokryciu terenu dla lat 2015 oraz 2021 zostały pozyskane z serwisu: [https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/Imgp\\_2](https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/Imgp_2).

html?gmap=gp0 (dostęp: 12.02.2023). Pozwoliło to na dokonanie analizy przestrzennej pozyskanych danych przy użyciu metod i technik Systemów Informacji Geograficznej (GIS) w oprogramowaniu QGIS 3.22.4, w którym dokonano klasyfikacji danych i ich porównania.

Natomiast rozpoznanie usług ekosystemowych świadczonych przez wyodrębnione ekosystemy z BDOT10k zostało dokonane na podstawie rekomendacji Grupy Roboczej UE ds. Rozpoznania i Oceny Ekosystemów i ich Usług (Maes i in., 2013). W celu ich klasyfikacji wykorzystano podział zaproponowany przez grupę roboczą UE (Maes i in., 2013; Pieczka, Stępniewska, 2022). Wyodrębnia on główne typy ekosystemów, tj.: zurbanizowane, rolne, trawiaste, leśne, zakrzewione i wrzosowiska, rzadko porośnięte roślinnością, podmokłe oraz rzeki i jeziora, natomiast w opracowaniu uwzględniono 4 typy ekosystemów – wodne, zurbanizowane, leśne oraz rolne. Obiekty z BDOT10k zostały przypisane do głównych typów ekosystemów poprzez porównanie oraz klasyfikację obiektów BDOT10k z grupy PT (pokrycie terenu) do cech charakterystycznych poszczególnych ekosystemów (wodnych, zurbanizowanych, leśnych oraz rolnych). W tabeli 1 przedstawiono grupy obiektów PT przypisane do głównych typów ekosystemów.

Tabela 1. Klasyfikacja oraz przypisanie obiektów pochodzących z bazy BDOT10k do głównych typów ekosystemów

Table 1. Classification and assignment of objects from the BDOT10k database to the main ecosystem types

Typ ekosystemu	BDOT10k – kod obiektu
Wodne	PTWP
Zurbanizowane	PTZB
Leśne	PTLZ PTRK
Rolne	PTUT PTTR

Źródło: opracowanie własne na podstawie Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT).

## Wyniki badań

### Analiza zmian w strukturze przestrzennej sieci ekologicznej wyspy Wolin w latach 2015–2021

W strukturze przestrzennej sieci ekologicznej (EN) wyspy Wolin dominują tereny leśne (obszary leśne i zadrzewione wraz z roślinnością krzewiastą). W 2015 roku zajmowały one 48,7% powierzchni EN wyspy Wolin, a w 2021 roku powierzchnia obszarów leśnych wzrosła do 49,1%. Drugim ważnym elementem EN wyspy Wolin są tereny rolne (uprawa trwała, roślinność trawiasta oraz uprawa rolna). Zajmowały one w 2015 roku 39,9% powierzchni badanego obszaru, natomiast w roku 2021 – 39,2%. Wskazuje to na spadek udziału terenów rolnych w sieci ekologicznej wyspy Wolin, co może świadczyć o rozwoju sektora turystycznego i związanych z nim usług. Ponadto zauważono wzrost udziału terenów zabudowanych w rejonie EN wyspy (z 2,1% w 2015 roku do 2,5% w 2021 roku), co może być efektem rozwoju procesów urbanizacyjnych w zasięgu EN wyspy Wolin (tab. 2).

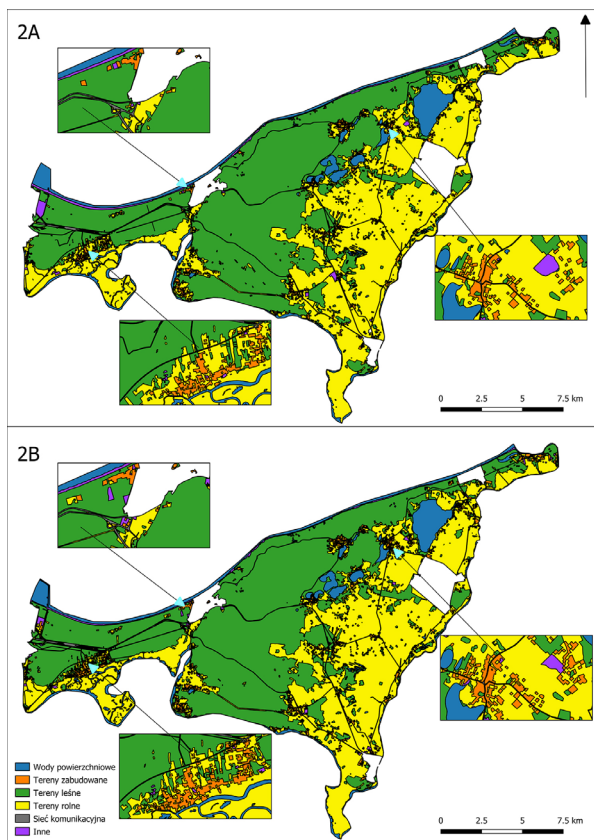


Tabela 2. Zmienność udziału elementów struktury przestrzennej w sieci ekologicznej wyspy Wolin w latach 2015–2021

Table 2. Variability of the proportion of spatial structure elements in the ecological network of the island of Wolin in 2015–2021

Rodzaj obszaru	2015 [ha]	2015 [%]	2021 [ha]	2021 [%]
Wody powierzchniowe	1813,2	7,1	1827,6	7,2
Tereny zabudowane	528,1	2,1	636,4	2,5
Tereny leśne	12406,0	48,7	12498,4	49,1
Tereny rolne	10155,6	39,9	9991,4	39,2
Sieć komunikacyjna	241,4	0,9	243,4	1,0
Inne	329,5	1,3	276,6	1,1

Źródło: opracowanie własne na podstawie Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT).



Ryc. 2. Zmiany w strukturze przestrzennej sieci ekologicznej wyspy Wolin 2A – 2015; 2B – 2021.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych pozyskanych z usługi przeglądania WMS dla Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT).

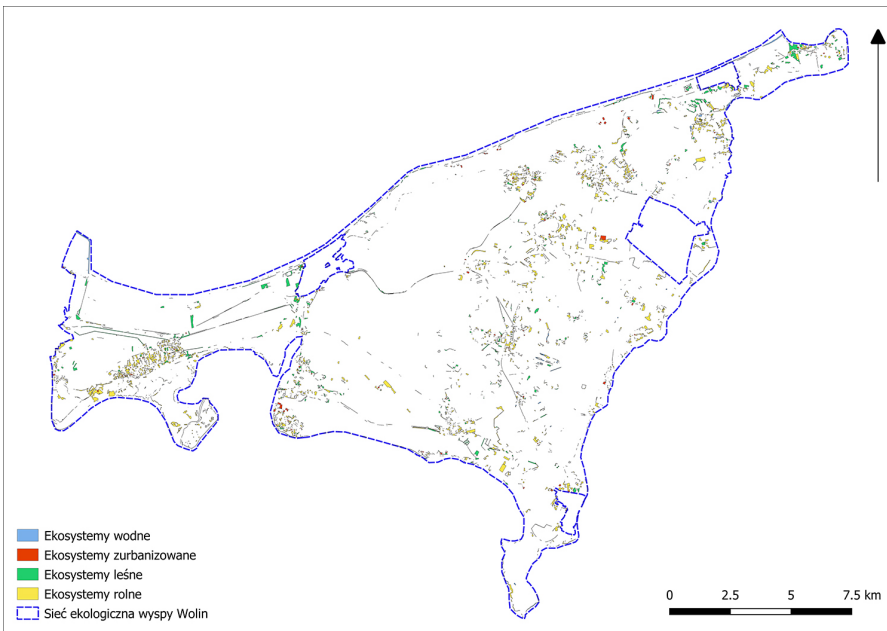
Fig. 2. Changes in the spatial structure of the Wolin Island ecological network 2A – 2015; 2B – 2021.



Zachodnia część EN wyspy Wolin charakteryzuje się znacznym udziałem obszarów leśnych, natomiast południowa – zawiera tereny przeznaczone w głównej mierze pod uprawę rolną (ryc. 2). Środkowa część EN wyspy zajęta jest głównie przez obszary leśne, w tym Woliński Park Narodowy. Wschodnia część przeznaczona jest w przeważającej mierze pod uprawę rolną z niewielkim udziałem obszarów zabudowanych. Charakteryzuje się ona też znaczącym udziałem wód powierzchniowych, wśród których wymienić można w szczególności jezioro Koprowo. Ponadto na przestrzeni lat 2015–2021 w pobliżu obszarów wodnych wzrosła gęstość zabudowy mieszkalnej, co może być spowodowane turystycznym wykorzystaniem ekosystemów wodnych oraz rozwojem procesów urbanizacyjnych. Ekosystemy wodne są także w znacznej części otoczone przez tereny rolne, które stanowią formę presji człowieka, zwłaszcza na jakość i ilość wód powierzchniowych.

Sieć drogowa sieci ekologicznej wyspy Wolin została w latach 2015–2021 wydłużona. Może to wynikać z rozwoju obszarów zurbanizowanych oraz wzrostu atrakcyjności turystycznej obszaru EN wyspy, wraz z którą rośnie zapotrzebowanie na odpowiednie warunki drogowe.

Główne typy ekosystemów, które zostały wydzielone na obszarze sieci ekologicznej wyspy Wolin, wykazują znaczne zróżnicowanie w latach 2015–2021 (ryc. 3). Największe zmiany dotyczą terenów rolnych (376 ha) oraz obszarów



Ryc. 3. Zmiany pokrycia terenu w ekosystemach wodnych, zurbanizowanych, leśnych oraz rolnych sieci ekologicznej wyspy Wolin w latach 2015–2021

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych pozyskanych z usługi przeglądania WMS dla Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT).

Fig. 3. Land cover changes in aquatic, urban and agricultural ecosystems of the Wolin Island ecological network between 2015–2021

leśnych (175 ha). Natomiast w przypadku ekosystemów zabudowanych oraz wodnych zauważono zbliżony bilans zmian w obu ekosystemach (ok. 34 ha).

## Rozpoznanie podstawowych usług ekosystemowych świadczonych przez sieć ekologiczną wyspy Wolin

Ekosystemy wodne stanowiły w 2021 roku 7,2% powierzchni sieci ekologicznej wyspy Wolin (w 2015 roku – 7,1%). Występują głównie we wschodniej części EN wyspy, pomiędzy obszarami leśnymi a rolnymi. Pod względem usług ekosystemowych pełnią zarówno rolę zaopatrującą, regulującą, jak i kulturową (tab. 3).

Tabela 3. Usługi ekosystemowe świadczone przez ekosystemy wodne sieci ekologicznej wyspy Wolin

Table 3. Ecosystem services provided by aquatic ecosystems of the ecological network of the island of Wolin

Rodzaj usługi ekosystemowej według CICES	Usługa ekosystemowa
Zaopatrujące	hodowla lub pozyskanie dziko żyjących zwierząt wodnych na cele żywnościowe
Regulacyjne	zaopatrzenie w wodę pitną regulacja temperatury i wilgotności ochrona przed pożarem regulacja cykli hydrologicznych regulacja lokalnego klimatu ochrona bioróżnorodności
Kulturowe	wspieranie zdrowia lub rozrywki umożliwienie prowadzenia badań naukowych walory estetyczne i przyrodnicze

Źródło: opracowanie własne na podstawie klasyfikacji usług ekosystemowych CICES (wersja 5.1): <https://cices.eu/>.

Ekosystemy zurbanizowane EN wyspy Wolin zlokalizowane są głównie w pobliżu ekosystemów wodnych, na granicy ekosystemów leśnych oraz rolnych. Zajmowały w 2021 roku 636 ha – czyli o 4% więcej niż w 2015 roku, co świadczy o rozwoju procesów urbanizacyjnych na obszarze EN wyspy. Na terenach zurbanizowanych główną rolę odrywają usługi kulturowe, które częściowo są wspierane przez usługi regulacyjne oraz zaopatrzeniowe. Zestawienie głównych usług ekosystemowych świadczonych przez tereny zurbanizowane ukazuje tabela 4.

Ekosystemy leśne zajmowały łącznie w 2021 roku powierzchnię około 12 498 ha (12 406 ha w 2015 roku), co wskazuje na tendencję wzrostową powierzchni leśnych na obszarze EN wyspy Wolin. Występują głównie w północnej i środkowej części EN wyspy, będąc częścią obszaru podlegającego ochronie prawnej, w tym m.in. Wolińskiego Parku Narodowego. W związku z zajmowaniem przez ekosystemy leśne znacznej powierzchni EN wyspy Wolin, świadczą one liczne usługi ekosystemowe, które zestawiono w tabeli 5.

Tabela 4. Usługi ekosystemowe świadczone przez ekosystemy zurbanizowane sieci ekologicznej wyspy Wolin  
 Table 4. Ecosystem services provided by urbanised ecosystems of the ecological network of the island of Wolin

Rodzaj usługi ekosystemowej według CICES	Usługa ekosystemowa
Zaopatrujące	rośliny i grzyby uprawiane na cele żywnościowe
Regulacyjne	tłumienie hałasu regulacja temperatury i wilgotności ograniczenie ilości zanieczyszczeń przez rośliny i zwierzęta zapyłanie
Kulturowe	wspieranie zdrowia oraz rozrywki prowadzenie badań naukowych działalność edukacyjna walory estetyczne i przyrodnicze

Źródło: opracowanie własne na podstawie klasyfikacji usług ekosystemowych CICES (wersja 5.1): <https://cices.eu/>.

Tabela 5. Usługi ekosystemowe świadczone przez ekosystemy leśne sieci ekologicznej wyspy Wolin  
 Table 5. Ecosystem services provided by forest ecosystems of the ecological network of the island of Wolin

Rodzaj usługi ekosystemowej według CICES	Usługa ekosystemowa
Zaopatrujące	dziko rosnące rośliny, grzyby i glony wykorzystywane na cele żywnościowe dziko żyjące zwierzęta wykorzystywane na cele żywnościowe pozyskanie włókien i innych materiałów z roślin dziko rosnących do bezpośredniego wykorzystania lub przetworzenia utrzymywanie populacji gatunków poprzez zbieranie nasion, zarodników i pozostałych materiałów roślinnych
Regulacyjne	usuwanie zanieczyszczeń przez rośliny, zwierzęta, grzyby tłumienie hałasu przeciwdziałanie erozji, ochrona wybrzeża regulacja cykli hydrologicznych ochrona przed silnym wiatrem ochrona bioróżnorodności regulacja składu chemicznego wód regulacja temperatury i wilgoci
Kulturowe	wspieranie zdrowia, regeneracji sił oraz rozrywki prowadzenie badań naukowych działalność edukacyjna znaczenie dla kultury i dziedzictwa walory estetyczne i krajobrazowe

Źródło: opracowanie własne na podstawie klasyfikacji usług ekosystemowych CICES (wersja 5.1): <https://cices.eu/>.

Ekosystemy rolne charakteryzują się drugą pod względem wielkości powierzchnią, która dominuje w krajobrazie EN wyspy Wolin. Zajmowały łącznie w 2021 roku około 10 000 ha – o około 0,7 p.p. mniej niż w 2015 roku. Ekosystemy rolne występują głównie w południowo-wschodniej części EN wyspy Wolin, dostarczając usługi zaopatrzeniowe oraz walory estetyczne dla mieszkańców wyspy Wolin i turystów (tab. 6).

Tabela 6. Usługi ekosystemowe świadczone przez ekosystemy rolne sieci ekologicznej wyspy Wolin

Table 6. Ecosystem services provided by agricultural ecosystems of the Wolin Island ecological network

Rodzaj usługi ekosystemowej według CICES	Usługa ekosystemowa
Zaopatrzeniowe	uprawa roślin na cele żywnościowe hodowla zwierząt na cele żywnościowe
Regulacyjne	redukcja zanieczyszczeń w środowisku przez rośliny/ zwierzęta kształtowanie widoku zapylenie rozsiewanie nasion ochrona gleb przez erozję ochrona przed szkodnikami
Kulturalne	prowadzenie badań naukowych działania edukacyjne doznania estetyczne

Źródło: opracowanie własne na podstawie klasyfikacji usług ekosystemowych CICES (wersja 5.1): <https://cices.eu/>.

## Dyskusja i wnioski

Zgodnie z Bukhard i in. (2014), usługi regulacyjne ekosystemów, tj. regulacja klimatu, jakości powietrza czy przepływu wody, występują głównie w ekosystemach wodnych oraz leśnych. Wskazane ekosystemy wykazują wysoki potencjał do świadczenia usług regulacyjnych poprzez swoją strukturę przestrzenną, różnicowanie gatunkowe siedlisk oraz właściwości ekosystemów. Usługi regulacyjne pozwalają m.in. na długoterminowe magazynowanie gazów cieplarnianych, wychwytywanie pyłów oraz gazów z powietrza czy oczyszczanie wód, co wykazują także ekosystemy zlokalizowane na obszarze EN wyspy Wolin. Natomiast usługi zaopatrujące dostarczane są głównie przez ekosystemy rolne i wodne oraz w ograniczonym stopniu przez ekosystemy leśne (ze względu na status prawny ochrony przyrody EN wyspy Wolin). Usługi zaopatrujące pozwalają m.in. na zapewnienie odpowiedniej ilości żywności dla ludzi (przy zachowaniu wysokiego potencjału ekosystemów do ich dostarczania), produkcję energii, pozyskanie pożywienia dla zwierząt czy surowca budowlanego lub energetycznego. Zgodnie z powyższymi

analizami sieć ekologiczna wyspy Wolin wykazuje potencjał do dostarczania usług zaopatrujących, jednak ich dostępność jest ograniczona ze względu na pokrycie znacznej części obszaru formami ochrony przyrody, z których najważniejszą jest Woliński Park Narodowy. Usługi kulturowe są z kolei dostarczane przez wszystkie typy ekosystemów. Jest to spowodowane w głównej mierze przez rekreacyjne oraz turystyczne wykorzystanie obszaru EN wyspy Wolin. Usługi kulturowe dostarczają rozrywkę turystom oraz zwiększają popyt na towary oferowane przez lokalnych przedsiębiorców. Ponadto wspierają podnoszenie świadomości ekologicznej mieszkańców oraz turystów przebywających na wyspie Wolin (Bukhard i in., 2014).

Sieć ekologiczna wyspy Wolin w ciągu analizowanych sześciu lat nie uległa znacznym przekształceniom przestrzennym. Zauważono wzrost powierzchni obszarów leśnych, wód powierzchniowych oraz terenów zabudowanych, co może mieć związek z rozwojem branży turystycznej oraz napływem znacznej liczby turystów. Ponadto odnotowano spadek udziału terenów rolnych, które ulegają przekształceniu na obszary leśne lub zabudowane. Sieć ekologiczna wyspy Wolin dostarcza liczne usługi ekosystemowe, które przynoszą korzyści okolicznym mieszkańcom oraz turystom. Warto zauważyć, że ekosystemy leśne oraz wodne dostarczają największą liczbę usług ekosystemowych w porównaniu z terenami zabudowanymi oraz rolnymi. Jest to spowodowane szczególnie znacznym przekształceniem obszarów zurbanizowanych oraz rolnych przez człowieka, co wpływa na ich zdolność do świadczenia określonych usług. W związku z tym ważne jest prowadzenie dalszych badań nad przekształceniami przestrzennymi oraz usługami świadczonymi przez ekosystemy sieci ekologicznej wyspy Wolin. Umożliwi to wykorzystanie środowiska przyrodniczego EN wyspy w *zrównoważony sposób*, co przyczyni się do zachowania obszaru w prawidłowym stanie dla przyszłych pokoleń.

Na podstawie powyższych rozważań oraz rekomendacji zamieszczonych na stronie Wolińskiego Parku Narodowego (<https://wolinpn.pl/>; dostęp: 19.03.2023) wskazuje się zastosowanie poniższych działań w celu ochrony ekosystemów leśnych występujących na obszarze EN wyspy Wolin:

- przebudowa drzewostanów, które uległy zniekształceniu,
- eliminacja gatunków inwazyjnych z ekosystemów leśnych,
- zwiększenie udziału bioróżnorodności,
- zabezpieczenie drzewostanów zniekształconych przed degradacją,
- zwiększenie zasięgu strefy ochrony ścisłej.

## **Podziękowania**

Serdeczne podziękowania składamy prof. UAM dr hab. Małgorzacie Stępniewskiej oraz prof. UAM dr hab. Iwonie Markuszewskiej za cenne wsparcie i wskazówki w trakcie pisania artykułu naukowego.

## Literatura

- Bater J., Press D., 1997, Sustainable Development of Small Island Economics, *Annals of Tourism Research*, 24: 255–256.
- Burkhard B., Kandziora M., Hou Y., Müller F., 2014, Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands – Concepts for Spatial Localisation, Indication and Quantification, *Landscape Online*, 34(1): 1–32.
- Degórski M., Affek A., Degórska B., Kowalska A., Wolski J., Solin J., Regulska E., 2022, Raport: Identyfikacja znaczących interakcji (wspierających i osłabiających) między usługami ekosystemowymi oraz istotnych zestawów usług na przykładzie Warszawy. Studium przypadku – identyfikacja znaczących interakcji wspierających i osłabiających pomiędzy usługami ekosystemowymi oraz istotnych zestawów usług. Ekosystemy zurbanizowane, Warszawa.
- Hewelke E.A., Graczyk M., 2016, Usługi ekosystemów jako instrument wspierania decyzji w gospodarce przestrzennej i ochronie środowiska, *Inżynieria Ekologiczna*, 49: 33–40.
- Lijewski T., Mikułowski B., Wyrzykowski J., 2002, *Geografia turystyki Polski*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Maes J., Teller A., Erhard M., Liqueste C., Braat L., Berry P., ... Bidoglio G., 2013, Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An Analytical Framework for Ecosystem Assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020, Luxembourg.
- Majewski M., Kostrzewski A., 2020, Stan geoeosystemów Polski w 2019 roku na podstawie badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, Poznań ([http://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/Raport\\_2019.pdf](http://centrumzmsp.home.amu.edu.pl/wp-content/uploads/2020/11/Raport_2019.pdf); dostęp: 18.03.2023).
- Millennium Ecosystem Assessment, 2003, *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*, Island Press, Washington, DC.
- Mizgajski A., Stępniewska M., 2009, Koncepcja świadczeń ekosystemów a wdrażanie zrównoważonego rozwoju, [w:] D. Kiełczewski, B. Dobrzańska (red.), *Ekologiczne problemy zrównoważonego rozwoju*, Białystok, s. 12–23.
- Pieczka D., Stępniewska M., 2022, Przekształcenia struktury ekosystemów na obszarach wiejskich na przykładzie gminy Łubowo (województwo wielkopolskie), *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, 61: 57–70.
- Rongbo X., 2004, Ecological security assessment of Hainan Island, *Journal of Natural Resources*, 9: 769–775
- Stępniewska M., 2020a, Wkład metodyczny Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w ocenę potencjału geoeosystemów do dostarczania usług regulacyjnych w Polsce, [w:] A. Olszewski, A. Andrzejewska (red.), *Aktualny stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoeosystemów jako cecha wskaźnikowa zmian klimatu*, Poznań, s. 71–78.
- Stępniewska M., 2020b, Usługi ekosystemów leśnych jako przedmiot badań Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, *Sylvan*, 164(2): 161–169.
- TEEB, 2010, *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and economic foundation*, Cambridge.
- Troy A., Wilson M.A., 2006, Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer, *Ecological Economics*, 60(2): 435–449.
- Zhao N., Wang H., Zhong J., Sun D., 2022, Assessment of Recreational and Cultural Ecosystem Services Value of Islands, *Land*, 11(2): 205.
- Żyto A., 2019, Wybrane czynniki warunkujące rozwój turystyki na wyspie Wolin, [w:] A. Kostrzewski, D. Abramowicz (red.), *Miasto i gmina Międzyzdroje – wybrane problemy*, Geoprzeźreń, 2: 47–64.

## **Recognition of ecosystem services of the ecological network of Wolin Island based on land cover and its changes in the years 2015–2021**

**Abstract:** The ecological network of Wolin Island is an important element of this area, which is characterized by unique natural and aesthetic values, as well as significant biodiversity in the environment. Thanks to this, the Island is an important tourist center generating profits for local residents and entrepreneurs. On the other hand, tourist pressure, the development of urbanization processes or human activity may negatively affect the quality and quantity of ecosystem services provided by the environment. Therefore, the article decided to recognize and analyze the variability of the spatial structure of Wolin Island in the years 2015–2021, in which forest, water, agricultural, built-up areas, and other areas transformed as a result of human activity were distinguished. Changes in the natural environment can be assessed based on changes in land cover and land use. For this reason, an analysis of the ecosystem services provided by the ecological network of the Island was carried out, where the ecological network is understood as a system of connections between individual ecosystems located on Wolin Island, which are subject to legal nature protection. This will allow appropriate tools to be used in the future to limit negative changes to the natural environment of the EN Wolin Island.

**Keywords:** ecosystem services, Wolin Island, spatial structure, urbanization





## Część II:

### Wybrane metody badania środowiska geograficznego



Ruiny zamku w Kole (26 stycznia 2023 r., fot. W. Karczewski)



*Ada Pleszewska, Katarzyna Oblińska, Dominika Marsicka, Marta Stróżyk*

**Sekcja Geo-Grafiki  
Studenckiego Koła Naukowego Geografów  
im. Stanisława Pawłowskiego UAM w Poznaniu**

## **Analiza systemów identyfikacji wizualnej (SIW) wybranych obszarów chronionych w Szwecji i Norwegii**

**Zarys treści:** Wprowadzenie jednolitej identyfikacji wizualnej na obszarach chronionych jest ważnym elementem promocyjnym, informacyjnym oraz edukacyjnym, który ułatwia korzystanie z walorów przyrodniczych i kulturowych regionu. Celem badań jest rozpoznanie cech systemu identyfikacji wizualnej (SIW) na sześciu obszarach chronionych w Szwecji oraz Norwegii. Opracowano pięciostopniową skalę dla każdej z ocenianych kategorii, którymi są: czytelność, spójność, wizualizacja, język, widoczność, stan utrzymania oraz estetyka. Dane i informacje potrzebne do przeprowadzenia analizy zostały zebrane poprzez dokumentację fotograficzną oraz notatki z odwiedzanych regionów. Porównanie wybranych obszarów chronionych wykazało, że identyfikacja wizualna jest bardziej przemyślana w Norwegii. Składa się na to większa spójność graficzna, uwzględnienie języków mniejszości etnicznych na tablicach informacyjnych oraz estetyka.

**Słowa kluczowe:** wykres radarowy, system identyfikacji wizualnej (SIW), obszary chronione, Skandynawia

### **Wstęp**

Obszary chronione to miejsca szczególne ze względu na ich unikalny charakter, chroniące piękno i różnorodność naturalnych ekosystemów, aby móc zachować je dla przyszłych pokoleń (Szczepanowski, 2020). W celu umożliwienia odwiedzającym skutecznego korzystania z terenu objętego ochroną i prawidłowego zarządzania nim należy zapewnić odpowiednią identyfikację wizualną. Jest ona ważnym elementem zarządzania tymi obszarami, a celem jej stosowania jest wzmocnienie wizerunku regionu, zwiększenie jego widoczności i ułatwienie od-

wiedzącym wykorzystania zasobów obszaru chronionego (Łuczak, 2010). Za system identyfikacji wizualnej można przyjąć zestaw reguł oraz jednolitych standardów komunikacji wizualnej opartych na logo, logotypie, kolorystyce i typografii (System Identyfikacji Wizualnej UAM, 2022), a nawet na szablonach postów na portalach społecznościowych. Celem artykułu jest rozpoznanie cech systemu identyfikacji wizualnej (SIW) na wybranych obszarach chronionych w Szwecji oraz Norwegii. Wykonano inwentaryzację SIW w miejscach dla zwiedzających. Przeanalizowano również aspekty dotyczące mocnych i słabych stron SIW oraz propozycje do modyfikacji. Dane potrzebne do zrealizowania niniejszego artykułu zebrano w trakcie wyjazdu „Kołem przez Skandynawię”, który odbył się w dniach 6.07–5.08.2022 roku.

## Materiał i metody badawcze

Dane i informacje niezbędne do zrealizowania postawionych celów były zbierane w formie dokumentacji fotograficznej bezpośrednio w terenie, notatek z odwiedzanych miejsc oraz przeglądu stron internetowych. Pozwoliło to stworzyć bazę informacji, do których można było się odnieść w czasie analizy identyfikacji wizualnej.



Ryc. 1. Położenie analizowanych obszarów chronionych na mapach administracyjnych Szwecji i Norwegii

Fig. 1. Location of selected protected areas on an administrative map of Sweden and Norway

Z wielu terenów odwiedzonych w czasie trwania projektu została wyodrębniona grupa obszarów chronionych (ryc. 1), w której znalazły się parki narodowe, rezerваты oraz obszary chronionego krajobrazu. Tabela 1 przedstawia nazwę każdego obszaru, jego formę ochrony oraz krótki opis.

## Wizualizacja wyników

Do analizy wzięto pod uwagę systemy identyfikacji wizualnej czterech obszarów chronionych w Szwecji i dwóch w Norwegii. Na podstawie wykonanych obserwacji, dokumentacji fotograficznej przeanalizowano całościowy system identyfikacji wizualnej każdego z wybranych miejsc, w którym zawierały się: logo, ikony, oznakowanie tras turystycznych, kierunkowskazy oraz tablice informacyjne (ryc. 2).

Tabela 1. Obszary chronione poddane analizie SIW z krótkimi opisami; SWE – Szwecja, NO – Norwegia, PN – Park Narodowy, RP – Rezerwat Przyrody, OCK – Obszar Chronionego Krajobrazu

Table 1. Protected areas with their summaries; SWE – Sweden, NO – Norway, PN – National Park, RP – Nature Reserve, OCK – Nature Park

Nazwa formy ochrony	Kraj	Typ formy ochrony	Krótki opis
Asnen	SWE	PN	Park składa się z licznych wysp, usytuowanych na jeziorze o tej samej nazwie. Występują na nich stare, nienaruszone lasy, znane z różnorodności gatunkowej. Znaczną część tego regionu jest domem dla ptaków, roślin i owadów, które stały się rzadkie lub nawet wymarły w innych miejscach. Park w szczególności znany jest z liczego ptactwa, które korzysta z obfitości ryb w jeziorze.
Skulesko-gen	SWE	PN	Wpisany na listę UNESCO obszar wysokiego wybrzeża wypiętrzonego po ostatnim zlodowaceniu, którego proces wypiętrzania trwa do dzisiaj. Dominującymi środowiskami leśnymi w Skuleskogen są wysokie lasy świerkowe. Występują tu zarówno rośliny alpejskie, które pochodzą z czasu po epoce lodowcowej, jak i południowa roślinność leśna, która jest reliktem ciepłego okresu sprzed około 5000 lat.
Storforsen	SWE	RP	Rezerwat obejmuje wodospad Storforsen i otaczający go obszar. Znajduje się on na jednej z narodowych rzek Szwecji – Pite, która w całości leży w sieci obszarów chronionych Natura 2000. Rezerwat chroni cenny krajobraz rzeczny z czynnymi bystrzami i śladami erozji wodnej. Obejmuje ochroną również nadrzeczny las z bogatą florą i fauną.
Abisko	SWE	PN	Na terenie parku znajdują się góry, łąki i bystrze. W jego obrębie występują drapieżniki, takie jak niedźwiedź, rosomak, ryś czy myszołów. Łosia można spotkać zimą, zaś renifery przez prawie cały rok. Stwierdzono obecność roślinności arktycznej, w tym rzadkich gatunków rosnących na podłożu wapiennym.
Trollohmsund	NO	OCK	Na obszarze tym znajduje się szlak prowadzący do charakterystycznych dolomitowych formacji, których powstanie jest opisywane w legendach ludu Saami. Wzdłuż szlaku występuje zróżnicowane środowisko naturalne z wieloma gatunkami roślin. Wapień, rodzaj gleby i warunki lokalne stanowią podstawę dla niskich i odpornych na suszę roślin.
Nigardsbreen	NO	RP	Lodowiec Nigardsbreen leży w najbardziej wewnętrznej części wydłużonej doliny Jostedal, otoczony parkami narodowymi Breheimen i Jostedalsbreen. Obszar ten jest chroniony ze względu na lodowiec i jego pozostałości, takie jak moreny czy kotły lodowcowe. Rezerwat jest wykorzystywany również jako teren referencyjny dla wzrostu roślin po ustąpieniu lodowca.





Ryc. 2. Przykładowe zdjęcia oznakowania trasy (a), kierunkowskazu (b), ikon (c), tablicy informacyjnej (d), logo (e)

Fig. 2. Sample photos of route markings (a), a signpost (b), icons (c), an information sign (d), a logo (e)

Opracowano pięciostopniową skalę dla każdej z ocenianych kategorii. Składały się na nie: czytelność, spójność, informatywność, dostępność, widoczność, stan utrzymania oraz estetyka (tab. 2).

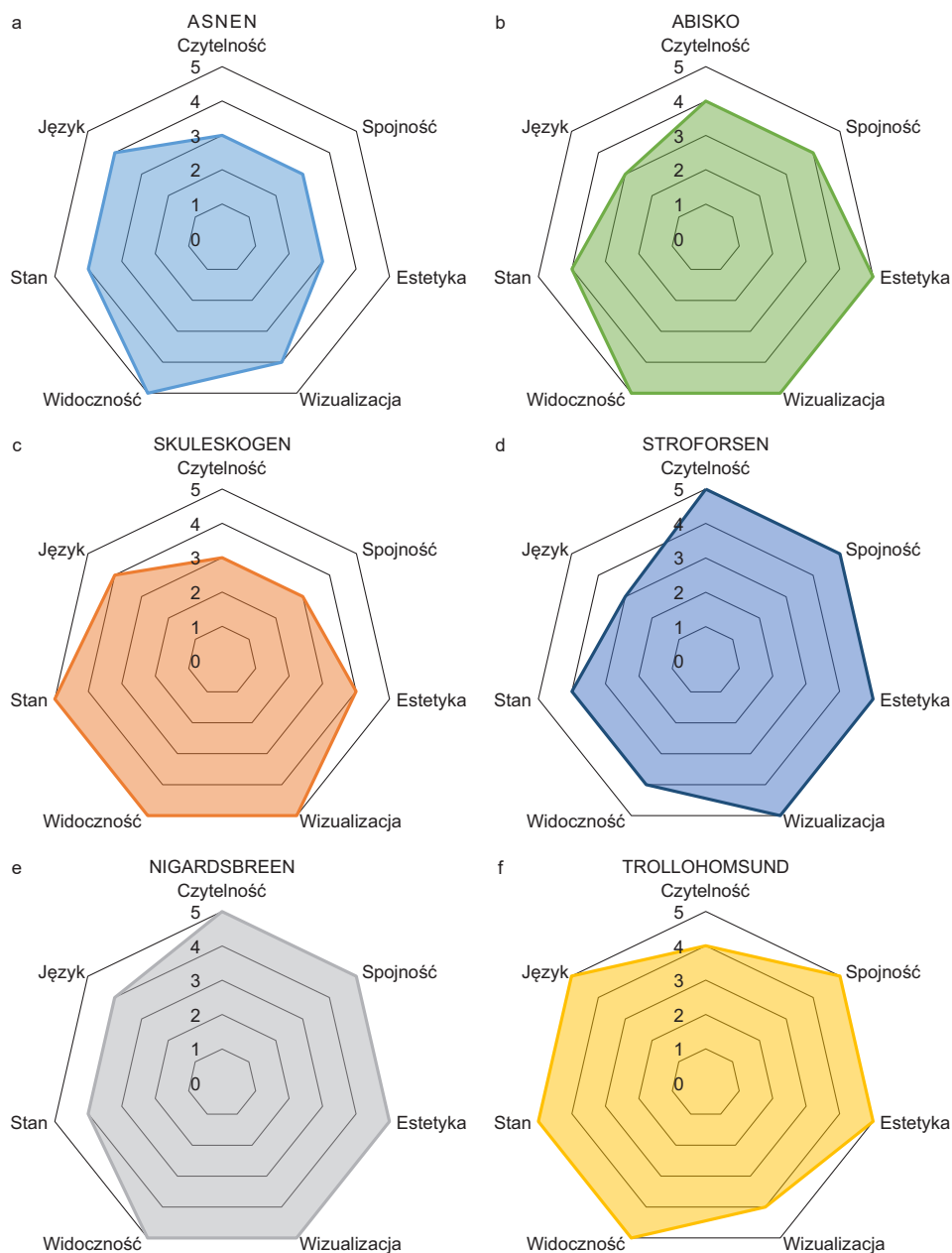
O liczbie przyznanych punktów dla kategorii „czytelność” zdecydował rozmiar czcionki oraz dobór kolorów używanych w systemie identyfikacji wizualnej, a także ilość przedstawianych informacji. W kategorii „spójność” oceniono, czy elementy systemu wewnątrz całego obszaru chronionego zostały zaprojektowane w sposób spójny, tj. z użyciem tych samych czcionek, kolorów, kształtów i motywów przewodnich. „Wizualizacja” oznaczała wartość dydaktyczną zawartą na wykresach i zdjęciach. Przeanalizowano też liczbę użytych języków – czy na znakach umieszczono tylko jeden język, używany w danym kraju, czy przetłumaczono tekst również na inne języki, punkty przyznano w kategorii „język”. To, czy tablice były wystarczająco zauważalne na trasie, ustawione w odpowiednich miejscach oraz niezasłonięte np. przez drzewa, oceniono w kategorii „widoczność”. Stan utrzymania przeanalizowano w punkcie „stan utrzymania”. Na koniec przyznano punkty za ogólne odczucia estetyczne w kategorii „estetyka”.

Dla każdego obszaru chronionego został wygenerowany wykres radarowy w programie Excel na podstawie przyznanych punktów (ryc. 3 od A do F). Jest



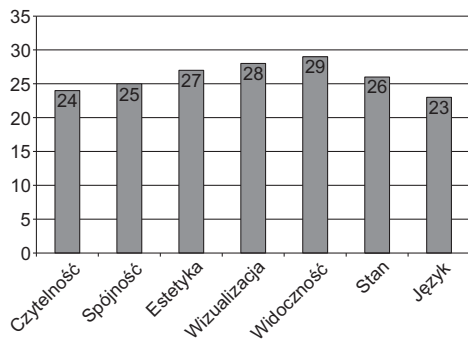
Tabela 2. Opracowana pięciostopniowa skala dla każdej z ocenianych kategorii dotycząca systemu identyfikacji wizualnej (SIW) wybranych form ochrony przyrody w Szwecji i Norwegii  
 Table 2. A five-point scale for each of the categories used for scoring the visual identification systems (VIS) of selected protected areas in Sweden and Norway

	1 pkt	2 pkt	3 pkt	4 pkt	5 pkt
czytelność	niewyważona ilość informacji, źle dobrane czcionki i kolory, brak kontrastu	slabo wyważona ilość informacji, słabo dobrane czcionki i kolory, niewielki kontrast	średnio wyważona ilość informacji, średnio dobrane czcionki i kolory	dobra ilość informacji, dobry dobór czcionki i kolorów	bardzo dobrze wyważona ilość informacji, bardzo dobry dobór czcionki i czytelnych kolorów
spójność	brak motywu przewodniego, dużo różnych czcionek, niespójny styl grafik, niespójne kolory	slabo zauważalny motyw, wiele typów czcionek, mało spójny styl grafik i kolorystyki	średnio zauważalny motyw, kilka typów czcionek, średnio spójny styl grafik i kolorystyki	zauważalny motyw, w większości podobne czcionki, style grafik i jednolita kolorystyka	jeden motyw przewodni, ta sama grupa czcionek, ten sam styl grafik i jednolita kolorystyka
wizualizacja	brak zdjęć i wykresów	zdjęcia i wykresy są niezrozumiałe i nie nawiązują do treści	zdjęcia i wykresy nawiązują w jakiś sposób do informacji zawartej w tekście	zdjęcia i wykresy dobrze obrazują/uzupełniają informację zawartą w tekście	zdjęcia i wykresy bardzo dobrze obrazują/uzupełniają informację zawartą w tekście
języki	w całej identyfikacji użyto jednego języka	w większości identyfikacji użyto przynajmniej dwóch języków	w całej identyfikacji użyto przynajmniej dwóch języków	w większości identyfikacji użyto przynajmniej trzech języków	w całej identyfikacji użyto przynajmniej trzech języków
widoczność	identyfikacja umiejscowiona w zastłoniętych miejscach	identyfikacja umiejscowiona w miejscach słabo zastłoniętych	średnio zastłoniętych	widocznych miejscach, blisko trasy	identyfikacja umiejscowiona w bardzo dobrze widocznych miejscach, na trasie
stan utrzymania	zły stan utrzymania, duży wandalizm i zniszczenia uniemożliwiający zrozumienie i odbiór	slaby stan utrzymania, znaczny wandalizm i zniszczenia	średni stan utrzymania, śladowy wandalizm, widoczne zniszczenia, które nie zakłócają odbioru	dobry stan utrzymania, brak wandalizmu, śladowe zniszczenia	bardzo dobry stan utrzymania, brak wandalizmu i zniszczeń
estetyka	całościowo nieestetyczna identyfikacja	w większości słabo estetyczna identyfikacja	częściowo średnio estetyczna identyfikacja	w większości estetyczna identyfikacja	całościowo wysoko estetyczna identyfikacja



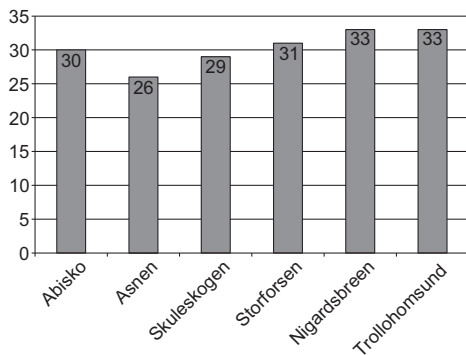
Ryc. 3. Wykresy punktacji SIW dla wybranych obszarów chronionych z terenu Szwecji i Norwegii, tj. PN Asnen (a), PN Abisko (b), PN Skuleskogen (c), RP Storforsen (d), RP Nigardsbreen (e), OCK Trollhomsund (f)

Fig. 3. VIS scores for selected protected areas in Sweden and Norway, namely PN Asnen (a), PN Abisko (b), PN Skuleskogen (c), RP Storforsen (d), RP Nigardsbreen (e), OCK Trollhomsund (f)



Ryc. 4a. Wykres sumarycznej punktacji dla każdej kategorii

Fig. 4a. Graph of the total score for each category



Ryc. 4b. Wykres sumarycznej punktacji dla każdego obszaru chronionego

Fig. 4b. Graph of the total score for each protected area

to typ wykresu, który w intuicyjny sposób przedstawia stan ocenianego obiektu (Peng, 2019). Dane są przedstawione na bazie koła, na którym konkretne wartości przypisane w kategoriach, zaznaczone są na liniach odbiegających od centralnego punktu wykresu.

## Wyniki badań

W wyniku przeprowadzonych analiz każdy obszar chroniony mógł otrzymać maksymalnie 35 punktów, natomiast każda kategoria 30 punktów. Badając poszczególne identyfikacje wizualne, można dostrzec, że istotną kategorią jest „widoczność”, która otrzymała 29 punktów.

Na dobrym poziomie są również kategorie „wizualizacja”, która łączy się z prezentowaną zawartością na tablicach (28 punktów), oraz „estetyka” tablic (27 punktów).

Słabą stroną identyfikacji wizualnej na badanych terenach jest „język”, który otrzymał 23 punkty. W większości stosowano język ojczysty na danym obszarze chronionym oraz angielski i niemiecki, nie wszystkie informacje na tablicach były przetłumaczone, często wybiórczo. Przez taki zabieg wiele ciekawych bądź kluczowych danych jest pomijanych, co skutkuje gorszym odbiorem przedstawionej informacji umieszczonej na tablicach.

Porównując wybrane obszary chronione, wykazano, że identyfikacja wizualna form ochrony w Norwegii jest bardziej przemyślana niż w Szwecji. Składa się na to większa spójność graficzna, użycie języków mniejszości etnicznej na tablicach informacyjnych czy estetyka, m.in. elementy związane z dobrą kompozycją. Oba badane obszary, Nigardsbreen oraz Trollhømsund, według pięciostopniowej skali dostały łącznie 33 punkty, gdy najwyżej ocenianym terenem chronionym w Szwecji był Storforsen, który uzyskał łącznie 31 punktów.

Najmniej dopracowaną identyfikację wizualną posiada Park Narodowy Asnen. Na niski wynik przekłada się zbyt duża ilość tekstu na wielu tablicach informacyjnych, na niektórych za mała czcionka, która sprawiała kłopot w odczytaniu informacji, oraz układ utrudniający odbiór. Oprócz problemów z czytelnością, zauważalny był brak spójności w identyfikacji wizualnej, w zależności od części parku.

Podczas oceniania każdej z identyfikacji wizualnej ani razu nie przyznano 2 punktów lub mniej. Oznacza to, że wszystkie identyfikacje wizualne są na dosyć dobrym poziomie. Otrzymały średnio 4,33 punktu w każdej kategorii.

## Wnioski

Analiza identyfikacji wizualnej sześciu wybranych obszarów chronionych w Szwecji i Norwegii wykazała, że każdy z badanych SIW został wykonany na odpowiednio wysokim poziomie. Wszystkie obszary miały wysokie wyniki w kategoriach: „wizualizacja”, „estetyka” i „widoczność”, co pozwala wyciągnąć wniosek, że przykładano dużą wagę do ich wyglądu oraz zauważalności.

Najwyżej punktowaną kategorią była „widoczność”. Dzięki umieszczeniu w odpowiednich, widocznych miejscach tablica może przekazywać informacje w sposób skuteczny i wyraźny dla wszystkich użytkowników. Również wybór odpowiednich symboli i grafik może zwiększyć widoczność tablic informacyjnych. Natomiast najniżej oceniona była kategoria „języki”, do czego przyczynił się fakt występowania tablic wykonanych tylko i wyłącznie w jednym lub dwóch językach, a nawet jeśli w danej identyfikacji użyto trzech lub więcej, to często nie utrzymano tej konwencji we wszystkich jej częściach.

Identyfikacje obszarów chronionych w Norwegii otrzymały najwyższą punktację (ex aequo 33 punkty) spośród wszystkich analizowanych, przy czym trzeba mieć na uwadze, że do badania wykorzystano dwa razy mniej obszarów z tego kraju niż ze Szwecji.

W kategorii „stan” możemy zauważyć na ogół wysokie wyniki, które nigdy nie były niższe niż cztery punkty. Spowodowane to było najczęściej niewielkim wandalizmem, zabrudzeniem lub wyblaknięciem elementów SIW przy nadal wysokim poziomie utrzymania. W parkach ma to ogromne znaczenie dla zachowania czystości i bezpiecznego korzystania z tego typu miejsc.

## Literatura

- Łuczak M., 2010, System of visual identification in creation of the touristic brand and activation of the region, *Acta Scientiarum Polonorum, Oeconomia*.
- Peng W., Li Y., Fang Y., Wu Y., Li Q., 2019, Radar Chart for Estimation Performance Evaluation, *IEEE Access*.
- Szczepanowski A., 2020, Funkcje przyrody, obszarów przyrodniczo cennych i ich inspiracje dla turystyki oraz wynalazków i innowacji wspieranych bioniką, [w:] M. Jalinik, S. Bakier (red.), *Obszary przyrodniczo cenne w rozwoju turystyki*, Politechnika Białostocka.

Strony internetowe

<https://www.sverigesnationalparker.se> [parki narodowe w Szwecji]

<https://www.jostedal.com> [parki narodowe w Jostedal]

<https://siw.amu.edu.pl/siw/strona-glowna/strona-glowna> [System Identyfikacji Wizualnej UAM, 2022]

## **Analysis of visual identification systems (VIS) of selected protected areas in Sweden and Norway**

**Abstract:** The introduction of a uniform visual identification in protected areas is an important promotional, informational and educational element that facilitates the use of natural and cultural values of the region. The aim of the research is to identify the features of the visual identification system (VIS) in six protected areas in Sweden and Norway. A five-point scale was developed for each of the assessed categories: readability, coherence, visualization, language, visibility, state of maintenance and aesthetics. The data and information needed to carry out the analysis was collected through photographic documentation and notes from the visited regions. A comparison of selected protected areas showed that visual identification is more thought out in those in Norway. This includes greater graphical coherence, the inclusion of ethnic minority languages on information boards, and aesthetics.

**Keywords:** radar chart, visual identification system (VIS), protected areas



*Radostaw Jagła, Oliwia Kapuścińska, Stanisław Lewko,  
Wojciech Rymarkiewicz, Jakub Woźniak*

**Sekcja Kartografii i Geomatyki  
Studenckiego Koła Naukowego Geografów  
im. Stanisława Pawłowskiego UAM w Poznaniu**

## **Porównanie metod pomiarów inwentaryzacyjnych obiektów dziedzictwa kulturowego na przykładzie ruin zamku w Kole (Gozdów)**

**Zarys treści:** Przedmiotem pracy jest porównanie metod pomiarów inwentaryzacyjnych na przykładzie obiektu zabytkowego. Materiałami podlegającymi badaniu są wyniki pomiarów na terenie ruin zamku w Kole, przeprowadzonych przez członków Sekcji Kartografii i Geomatyki Studenckiego Koła Naukowego Geografów im. Stanisława Pawłowskiego UAM dnia 20.01.2023 roku oraz materiały archiwalne. Wykonano nalot fotogrametryczny oraz naziemny skaning laserowy obiektu. Porównano metody pomiarowe pod kątem przydatności w różnych dziedzinach nauki. Przedstawiono możliwości zastosowania uzyskanych wyników badań.

**Słowa kluczowe:** inwentaryzacja, skaning laserowy, fotogrametria, zamek w Kole

### **Wprowadzenie**

Ruiny postrzegane są jako pełnoprawny zabytek i są one objęte ścisłą ochroną konserwatorską. Jako społeczeństwo mamy refleksyjny stosunek do tak zachowanych „świadków historii”. Możemy wnioskować, że nasz szacunek do ruin wywodzi się z kultury śródziemnomorskiej, która powstała na ruinach kultur greckiej i rzymskiej (Siwek, 2020).

Podstawą ochrony i dokumentacji zabytków jest inwentaryzacja pomiarowo-rysunkowa, która polega na wykonaniu rysunków pomiarowych i opisów stanu aktualnego danego obiektu (Drobek i in., 2019). Do celów inwentaryzacji od



wielu lat wykorzystuje się klasyczne geodezyjne metody pomiarowe oraz fotogrametrię (Rzonca, 2004). Obecnie jednak do inwentaryzacji zabytków coraz częściej używa się metody naziemnego skaningu laserowego (Drobek i in., 2019).

Autorzy niniejszego badania zauważają potrzebę przeprowadzania takich pomiarów w celu ochrony zabytków w postaci m.in. ruin zamków. Dostrzeżono potencjał informacyjny danych pozyskanych w trakcie wykonywania pomiarów inwentaryzacyjnych metodą fotogrametryczną oraz naziemnego skaningu laserowego. Zebrane w ten sposób chmury punktów można wykorzystać do analiz przestrzennych, prac architektonicznych i remontowych (Niemiec, Gruchlik, 2016) oraz do popularyzacji i nauczania historii, co determinuje interdyscyplinarność badania.

## Cel badań

Głównym celem badania prowadzonego przez członków Studenckiego Koła Naukowego Geografów UAM jest porównanie metod pomiarów inwentaryzacyjnych na potrzeby rejestracji obiektów dziedzictwa kulturowego na przykładzie ruin zamku w Kole (Gozdów). W pracy zostały użyte archiwalne materiały dotyczące opisywanego obiektu oraz aktualne pomiary fotogrametryczne i dane z naziemnego skaningu laserowego, które są konkretnym przykładem wykorzystania technik cyfrowych. Autorzy wyodrębnili cel użytkowy, którym stało się ukazanie interdyscyplinarności badań zabytków, poprzez dostarczenie danych dla różnych dziedzin nauki, takich jak: kartografia, historia i archeologia.

## Metodyka badań

Do wykonania pomiarów inwentaryzacyjnych obiektu wykorzystano metodę skaningu laserowego oraz fotogrametryczną z niskiego pułapu lotniczego. Skaningu laserowego (ang. LIDAR – *Light Detection and Ranging*) jest teledetekcyjną metodą pomiaru za pomocą lasera (ang. *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), który umożliwia pomiar odległości do danych punktów w terenie. Technologia skaningu laserowego może być sklasyfikowana ze względu na miejsce prowadzenia obserwacji (Medyńska-Gulij, 2021). Można wyróżnić skanowanie laserowe:

- ALS (ang. *Airbone Laser Scanning*), w którym skaner umiejscowiony jest na danej platformie lotniczej;
- TLS (ang. *Terrestrial Laser Scanning*), jest to naziemny skaner laserowy, który umożliwia pomiar z nieruchomego statywu położonego na powierzchni Ziemi;
- MLS (ang. *Mobile Laser Scanning*), to odmiana skanowania naziemnego cechująca się pomiarem za pomocą platformy ułożonej na powierzchni najczęściej ruchomego pojazdu;
- SLS (ang. *Satellite Laser Scanning*), jest to metoda, w której skaner instalowany jest na satelicie.

W niniejszym badaniu w celu jak najdokładniejszej rejestracji obiektu autorzy zdecydowali się przeprowadzić naziemne skanowanie laserowe TLS wcześniej wspomnianego obiektu dziedzictwa kulturowego za pomocą naziemnego skanera laserowego Trimble TX8. Uzyskane wyniki zostały opracowane z wykorzystaniem oprogramowania Trimble RealWorks.

Fotogrametria jest dziedziną nauki i techniki zajmującą się pomiarem położenia, rozmiaru i kształtu obiektów na podstawie ich zdjęć fotograficznych, inaczej zwanych fotogramami (Kurczyński, 2014). Współczesne pomiary fotogrametryczne prowadzone są często z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych (UAV, ang. *Unmanned Aerial Vehicle*). Zaletą technologii UAV jest możliwość dotarcia do trudno dostępnych miejsc i dokładne skanowanie mniejszych obiektów (Smaczyński i in., 2020; Smaczyński, 2021). Po dokonaniu analizy warunków terenowych autorzy zdecydowali, że metodą pomiarową, która zapewni najkorzystniejszą wizualizację obiektu z perspektywy lotu ptaka, będzie nalot fotogrametryczny z użyciem bezzałogowego statku powietrznego DJI Phantom 4 RTK. Uzyskane dane posłużyły do wygenerowania chmury punktów w programie Agisoft Metashape. Wspomniane oprogramowanie umożliwia przetwarzanie danych pozyskanych w wyniku pomiarów fotogrametrycznych oraz generowanie geowizualizacji w postaci Numerycznych Modeli Terenu czy ortofotomap.

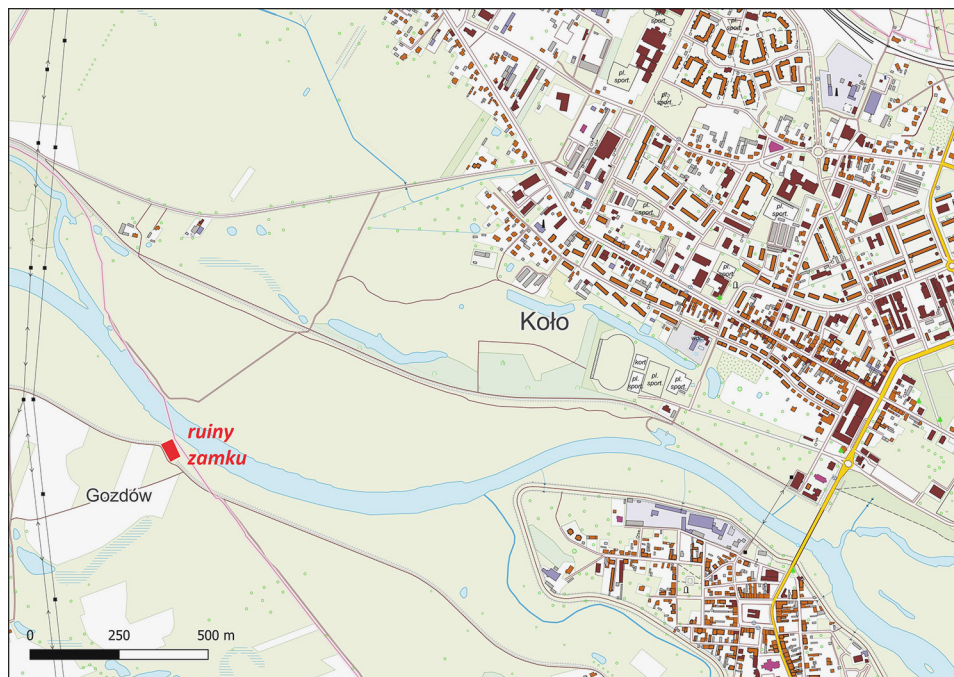
W celu nawiązania założono punkty osnowy fotogrametrycznej w postaci drewnianych palików oznakowanych farbą fluorescencyjną. Do pomiaru współrzędnych punktów nawiązania wykorzystano odbiornik GNSS (ang. *Global Navigation Satellite Systems*) – Trimble R10 – model 2.

Autorzy w celu podkreślenia interdyscyplinarności badań przeprowadzili kwerendę literatury zawierającej opisy historyczne dotyczące ruin zamku. Wykorzystano opracowanie Olszackiego i Różańskiego (2015) na temat zamku w Gołańczy. Wyniki archiwalnych pomiarów obiektu niezbędnych do dokonania porównania zostały pozyskane z Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków – delegatura w Koninie.

## Obszar badań

### Położenie

Obszar badań zlokalizowany jest w województwie wielkopolskim na terenie powiatu kolskiego w gminie Kościelec. Ruiny zamku znajdują się w obrębie ewidencyjnym Gozdów na działce numer 300, której powierzchnia wynosi około 0,17 ha. Ponadto obiekt badań znajduje się bezpośrednio przy rzece Warcie, na jej lewym brzegu. Usytuowanie zamku pokazano na mapie lokalizacyjnej (ryc. 1). Natomiast kształt obiektu ilustruje ortofotomapa (ryc. 2). Elewacja północna o długości około 28 m zachowana jest do wysokości około 7,9–9,6 m. W centralnej części tego muru znajdują się pozostałości wieży mieszkalnej. Sama wieża ma zarys prostokąta o wymiarach około 12 × 15 m. Część zachodnia muru ma szerokość 2,1 m, natomiast wschodnia jest nieco węższa – 1,8 m. Kurtyna za-



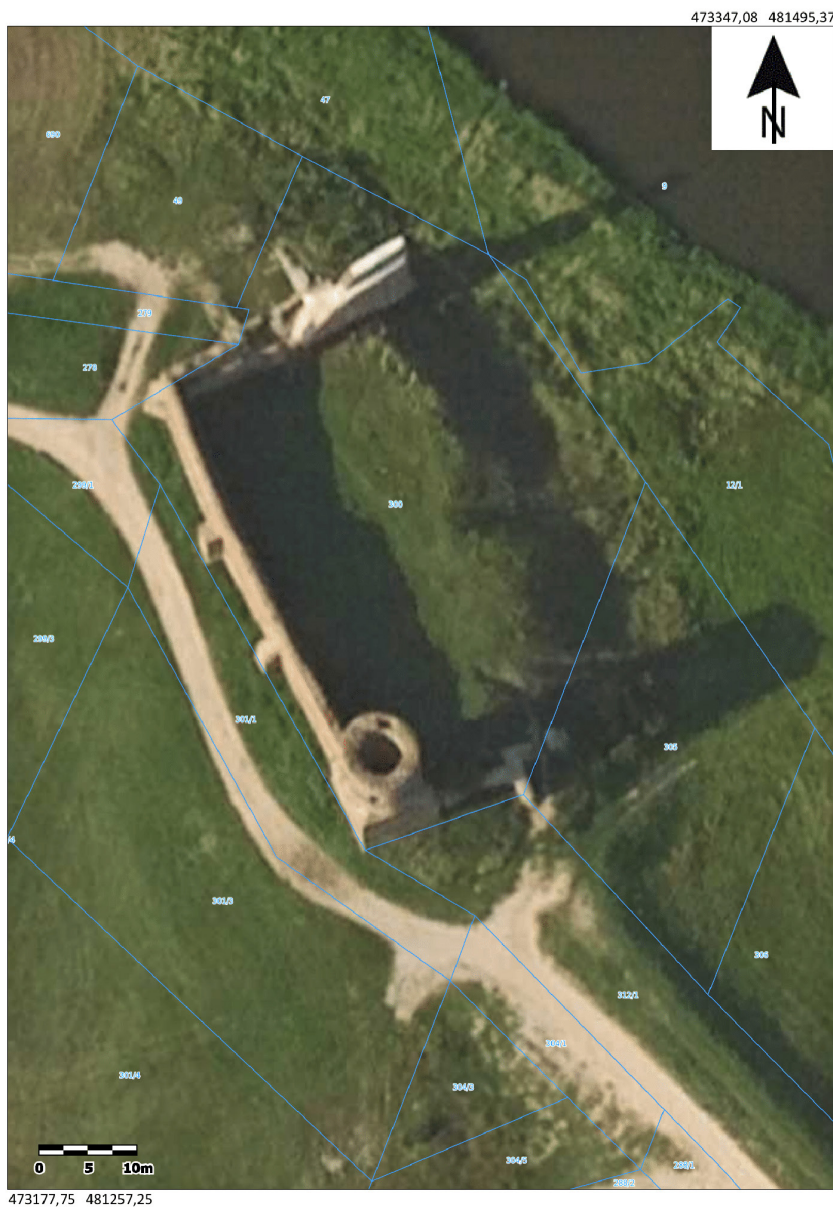
Ryc. 1. Lokalizacja ruin zamku w Kole (Gozdów) na wizualizacji BDOT10k  
 Źródło: opracowanie własne na podstawie BDOT10k (dostęp: 12.02.2023).

Fig. 1. Location of the ruins of the castle in Koło (Gozdów) on the visualization of the BDOT10k

chodnia o długości całkowitej około 41,8 m i szerokości 2,1 m zachowana jest do wysokości 6,8–8,4 m. Kurtyna zachodnia od południa połączona jest z wieżą. Wymiary podstawy wieży na planie zbliżonym do prostokąta wynoszą – dla części północnej 7,88 m, dla południowej 8,52 m, dla wschodniej 8,15 m, dla zachodniej 8,07 m. W górnej części kształt zmienia się w wałec o wysokości 9,2 m. Ściana południowa zachowała się 1 m powyżej poziomu zero. W odległości około 8,8 m od wieży można zauważyć pozostałości dwóch ścian budynku przybramiennego wraz z relikami ściany zachodniej 5,8 m oraz ściany północnej 7,4 m.

## Rys historyczny

Budowę zamku w Kole według Aktu Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków w Poznaniu przypisuje się ostatniemu królowi Polski z dynastii Piastów, Kazimierzowi Wielkiemu. Jan Długosz w swojej kronice wskazuje, że budowę rozpoczęto w ostatnich latach panowania króla, to jest po roku 1365. Okres świetności w historii tych fortyfikacji przypada na wiek XV. Jednymi z ważniejszych i bardziej wsławionych w służbę ojczyźnie właścicieli byli: Jan Zawiszyc z Garbowa herbu Sulima, który poległ w bitwie pod Chojnicami w 1454 roku, czy Hińcza z Rogowa herbu Działosza, który sprowadził do Koła bernardynów w 1466 roku.



Główny Urząd Geodezji i Kartografii  
ul. Wspólna 2  
00-926 Warszawa

Uwaga: Ten wydruk ma charakter wyłącznie poglądowy i w żadnym razie nie może być traktowany jako dokument oficjalny.  
© 2022 GUGiK Wszystkie prawa zastrzeżone.

Ryc. 2. Zamek w Koło na ortofotomapie

Źródło: opracowanie własne na podstawie geoportal.gov.pl (dostęp: 3.03.2023).

Fig. 2. The castle in Koło on the orthophotomap



Na zamku w Kole miały miejsce także ważne wydarzenia dla polityki regionu. Od połowy XV wieku Koło było miejscem zgromadzeń szlachty wielkopolskiej (pierwszy zjazd odbył się 24 lipca 1433 roku), a nawet spotkania Kazimierza Jagiellończyka z przedstawicielami Związku Pruskiego (Majewski i in., 1990). W latach 1476–1482 zamek był rezydencją księżnej Anny Sochaczewskiej, córki Konrada Oleśnickiego. W następnych dziesięcioleciach na zamku rezydowali starostowie kolscy, jednakże w 1577 roku zmienili swoją siedzibę na Kościel. Od tego momentu obiekt zaczął popadać w ruinę. Los zamku przypieczętował potop szwedzki (1655–1660), a następnie sejm, który w XVIII wieku przekazał ruiny zakonowi bernardynów, którzy pozyskiwali z nich materiały pod budowę.

Autorzy pracy wybrali niniejszy obiekt ze względu na unikatową, jedyną możliwość opisanego zamku w obecnej formie. W najbliższej przyszłości planuje się prace remontowe mające ułatwić dostęp i zwiedzanie zabytku turystom, co niestety nieodwracalnie wpłynie na wygląd i budowę konstrukcji. Dysponowano także danymi archiwalnymi z ubiegłego wieku, które znacząco pomagają w pozyskiwaniu danych archeologicznych, których osobiście nie można było pobrać. Niezwykle ważne jest zachowanie i dokumentowanie dziedzictwa narodowego jako części naszego dorobku kulturowego. Wiele zabytków zostało utraconych, a liczne chylą się ku ruinie, m.in. zamek w Kole, dlatego tak istotne jest tworzenie solidnej dokumentacji, na podstawie której możemy odtworzyć i utrwalić w świadomości historycznej obiekt w danym regionie.

## Opis badań

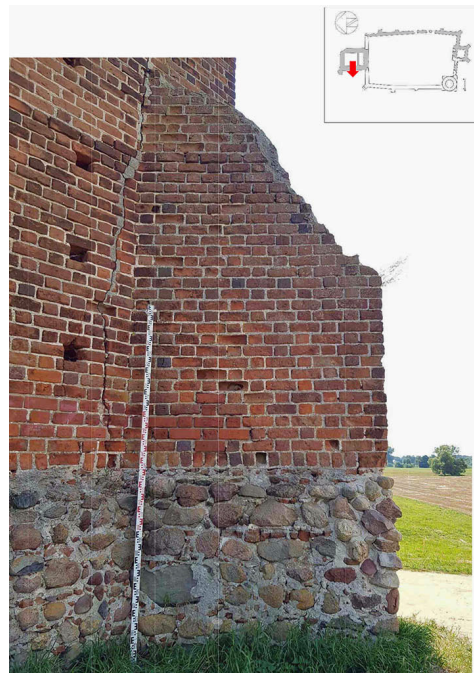
Obiekty dziedzictwa narodowego, jakimi są zabytkowe budowle, mają szczególne znaczenie dla podnoszenia świadomości społecznej dotyczącej tożsamości kulturowej. Dlatego tak kluczowe jest właściwe zinventaryzowanie ich stanu w celu przeprowadzenia odpowiednich analiz, rozpowszechniania wiedzy, a także dla zachowania informacji o ich kształcie, w przypadku konieczności przeprowadzenia rekonstrukcji. Wiąże się to z koniecznością wykonywania prac terenowych, które przybierają wieloraką formę.

Analizie poddano dzienniki polowe prac archeologicznych przeprowadzanych w latach 1977–1979 przez Łucję Pawlicką-Nowak na terenie ruin zamku w Kole. Dowiadujemy się z nich, że wykopaliska są skomplikowanym procesem zarówno przy wyborze miejsca, w którym wytyczony zostanie wykop, jak i podczas samego procesu zdejmowania materiału. Pierwszy problem został rozwiązany dzięki nieinwazyjnym elektrooporowym badaniom geofizycznym, które ujawniły położenie zakrytych obiektów będących przedmiotem zainteresowania badaczy. Jednak wykonanie prac ziemnych skutkowało dużymi kosztami. Odkrywanie kolejnych wykopów trwało wiele tygodni, podczas których zaangażowanych w pracę było około dwudziestu robotników fizycznych. Ta skuteczna, aczkolwiek inwazyjna metoda, wiąże się z dużymi nakładami czasu oraz pieniędzy potrzebnych do przygotowania i przeprowadzenia robót ziemnych.

Do wykonania inwentaryzacji wykorzystano tradycyjny pomiar ręczny. Metoda ta jest prosta, tania i zapewnia wystarczającą dokładność przy określaniu ogólnej geometrii obiektów. Dane takie nie dostarczają jednak szczegółowych informacji, gdyż każda kolejna obserwacja wymaga indywidualnego pomiaru. Z powodu dużych nakładów pracy oraz czasochłonności takiego rozwiązania pomiary ogranicza się jedynie do prostych obiektów (Drobek i in., 2019).

Spore znaczenie w ocenie potencjału aplikacyjnego danych ma również forma przedstawienia wyników pomiarów. W aktach prac archeologicznych z lat 1977–1979 odnajdujemy głównie opisy słowne. Taki sposób prezentacji danych nie daje nam pełnego obrazu sytuacji, a jedynie ogólne zarysy wynikające z punktowych obserwacji. Załączone do dokumentacji szkice przekazują informacje bardziej obrazowo, jednak sposób ich przedstawienia jest schematyczny i ukazuje jedynie wycinek sytuacji. Akta uzupełnia dokumentacja fotograficzna. Pomimo że jest to metoda bardzo prosta w odbiorze, zaburzenia perspektywy skutkują bardzo niską dokładnością w jednostkach miary (Drobek i in., 2019). Późniejsze badania architektoniczne z 2020 roku korzystają z fotoplanów dostarczonych przez właściciela obiektu, ale z powodu błędów pomiarowych i skrótów perspektywicznych posłużyły tylko do przerysu elewacji (Prarat, Schaaf, 2020). Do opisu prac dołączono również własną dokumentację fotograficzną (ryc. 3).

Współczesne metody inwentaryzacji pozwalają na zbieranie dużych ilości danych w krótkim czasie. Obecnie coraz bardziej popularną metodą inwentaryzacji obiektów jest generowanie modeli trójwymiarowych na podstawie zdjęć uzyskanych podczas nalotu fotogrametrycznego bezzałogowym statkiem powietrznym z niskiego pułapu. Obserwację taką można zaplanować kameralnie, a następnie przeprowadzić ją w terenie w sposób zautomatyzowany. Czas wykonywania nalotu zależy od powierzchni i stopnia skomplikowania obiektu, jaki planuje się zinventoryzować, można jednak stwierdzić, że w relatywnie krótkim czasie uzyskuje się dużą ilość materiału fotograficznego, który następnie po częściowo zautomatyzowanym procesie obróbki w odpowiednim oprogramowaniu komputerowym pozwala na uzyskanie modelu trójwymiarowego



Ryc. 3. Przykład dokumentacji fotograficznej fragmentu zamku w Kole  
Źródło: Prarat (2020).

Fig. 3. An example of photographic documentation of a fragment of the castle in Koło

w wysokiej rozdzielczości (Smaczyński, Horbiński, 2020). Z wykonanego w ramach prac nalotu (ryc. 4) wygenerowano chmurę złożoną z ponad 29 mln punktów (ryc. 5). Może ona posłużyć do stworzenia modelu trójwymiarowego badanego obiektu. Metoda ta jest bardzo wydajna, pomiar wykonuje się stosunkowo szybko, proces obróbki jest częściowo zautomatyzowany, a wygenerowane w ten sposób produkty, takie jak model DEM lub ortofotomapa, osadzone w obowiązującym układzie współrzędnych zachowują kartometryczność, co pozwala na przeprowadzanie kolejnych analiz. Dane udostępnione w postaci modelu 3D prezentują obiekt w sposób wielowymiarowy, możliwy do zaaplikowania w systemie wirtualnej rzeczywistości (ang. *Virtual Reality*) (Medyńska-Gulij, Zagata, 2020), w trybie pierwszoosobowym (ang. *First Person View*), za czym idzie dużo większy potencjał ilości przekazywanych informacji w stosunku do tradycyjnych opracowań 2D, takich jak fotografie, szkice i rysunki (Halik, Smaczyński, 2018).

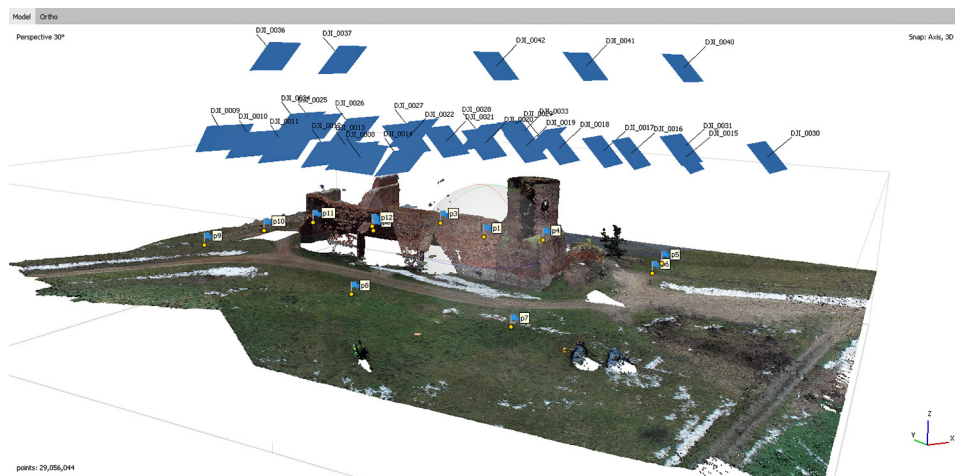


Ryc. 4. Dokumentacja fotograficzna z prac terenowych przedstawiająca zespół pomiarowy  
Źródło: opracowanie własne.

Fig. 4. Photographic documentation from field work showing the measurement team

Kolejną metodą zbierania informacji o obiektach terenowych jest skanowanie laserowe w technologii 3D. Jest to jedna z najdokładniejszych metod pomiarów inwentaryzacyjnych obiektów (Drobek i in., 2019). Naziemny skaner zamontowany na obrotowym statywie wykonuje pomiary laserowe pikiet w dużym zagęszczeniu, generując bardzo szczegółową chmurę punktów, będącą dokładnym





Ryc. 5. Chmura punktów wygenerowana z naltu fotogrametrycznego  
Źródło: opracowanie własne.

Fig. 5. A point cloud generated by photogrammetric raid

odzworowaniem obiektu w terenie. Sprzęt służący do wykonywania takich pomiarów jest bardzo kosztowny, a przeprowadzenie obserwacji w terenie wymaga dużego doświadczenia, w którym kluczowe jest odpowiednie dobieranie kolejnych stanowisk pomiarowych, tak aby skaner uchwycił wszystkie interesujące nas powierzchnie. Może to być szczególnie trudne, gdy obiekt ma skomplikowany kształt i wymaga przeprowadzenia obserwacji z wielu kierunków. Wynika z tego kolejna wada takiego rozwiązania, jaką są miejsca niedostępne, które szczególnie trudno uchwycić wiązką lasera. Mimo to obserwacje uzyskane tą metodą zachowują najwyższą jakość i dokładność, dostarczając dużej liczby precyzyjnych pomiarów przestrzennych, przy dużej automatyzacji procesu przetwarzania



Ryc. 6. Chmura punktów pozyskanych ze skaningu laserowego  
Źródło: opracowanie własne.

Fig. 6. Point cloud generated by laser scanning

i klasyfikacji chmury punktów (Wężyk, 2006). Wyniki takich pomiarów pozwalają w krótkim czasie tworzyć bardzo dokładne modele trójwymiarowe, o dużym zagęszczeniu punktów, utrwalając w postaci cyfrowej aktualny stan obiektu wraz ze wszystkimi jego szczegółami. Dodatkowo skanery laserowe są w stanie wyłapać anomalie niewidoczne gołym okiem, co znacznie podnosi wartość analiz wykonywanych na pozyskanych tą metodą pomiarach. W ramach pracy otrzymano chmurę punktów wygenerowaną z pomiaru metodą skaningu naziemnego, która zostanie wykorzystana w przyszłych analizach przestrzennych (ryc. 6).

## Wnioski

Założony wcześniej cel badań został zrealizowany. Współczesne technologie pozwalają w krótkim czasie, przy wysoce zautomatyzowanym procesie pozyskiwania, wygenerować duże zbiory szczegółowych danych pomiarów, które następnie można wykorzystać do dalszych analiz i wizualizacji, znajdujących szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach nauki, takich jak kartografia, historia, architektura (Niemic, Gruchlik, 2016) i archeologia. Szczególnie ważne dla podnoszenia świadomości społecznej dotyczącej obiektów dziedzictwa narodowego oraz tożsamości kulturowej jest wierne, cyfrowe odwzorowanie zabytku, które zaimplementowane do systemu wirtualnej rzeczywistości (ang. *Virtual Reality*) umożliwia odbycie wirtualnego spaceru (Medyńska-Gulij, Zagata, 2020), dzięki czemu staje się on łatwiej dostępny dla szerokiego grona osób zainteresowanych.

Wysokie koszty zakupu sprzętu pomiarowego oraz przeprowadzenia obserwacji sprawiają, że nowoczesne metody inwentaryzacji nie są jeszcze stosowane powszechnie dla obiektów dziedzictwa kulturowego. Popularyzacja takich metod jest jednak wysoce wskazana dla zabezpieczenia informacji o geometrii obiektów. Jednakże na chwilę obecną trzeba dążyć do inwentaryzowania zabytków wszelkimi dostępnymi sposobami.

Twórcy artykułu planują wykorzystać zebrane w trakcie prac dane do dalszych badań naukowych i analiz. Autorzy przykładają dużą uwagę do potrzeby ogólnego rozwoju nauki i świadomości społecznej na temat obiektów dziedzictwa kulturowego.

## Literatura

- Drobek K., Szostak B., Królikowski W., 2018, Metody inwentaryzacji obiektów znajdujących się w stanie ruiny, *Ochrona Dziedzictwa Kulturowego*, 6: 73–86.
- Halik Ł., Smaczyński M., 2017, Geovisualisation of Relief in a Virtual Reality System on the basis of low-level aerial imagery, *Pure Appl. Geophys.*, 175: 3209–3221.
- Kurczyński Z., 2015, *Fotogrametria*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Majewski W., Nowak T.M., Teodorczyk J., 1990, *Polskie tradycje wojskowe*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa.

- Medyńska-Gulij B., 2021, Kartografia i geomeedia, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Medyńska-Gulij B., Zagata K., 2020, Experts and Gamers on Immersion into Reconstructed Strongholds, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, 9: 655.
- Niemiec T., Gruchlik P., 2016, Rectification of the church building in Bytom Miechowice and the results of laser scanning 3D, *Geoinformatica Polonica*, 15.
- Olszacki T., Różański A., 2015, Zamek w Gołańczy. Dzieje i architektura od połowy XIV po schyłek XVIII stulecia, Gołaniecki Ośrodek Kultury – Biblioteka Publiczna – Regionalna Izba Tradycji pod patronatem Burmistrza Miasta i Gminy Gołańcz.
- Prarat M., Schaaf U., 2020, Zamek w Kole, woj. wielkopolskie. Badanie architektoniczne i wnioski konserwatorskie, Toruń.
- Rzonca A., 2004, Współczesne metody kompleksowej inwentaryzacji zabytków na przykładzie parafialnego kościoła w Michalicach, 14: 1–8.
- Siwek A. 2020. Historyczne ruiny – między doktryną konserwatorską a społeczną akceptacją, *Ochrona Dziedzictwa Kulturowego*, 10: 87–99.
- Smaczyński M., Horbiński T., 2021, Creating a 3D Model of the Existing Historical Topographic Object Based on Low-Level Aerial Imagery, *KN – Journal of Cartography and Geographic Information*, 71: 33–43.
- Wężyk P., 2006, Wprowadzenie do technologii skaningu laserowego w leśnictwie, *Roczniki*, 4, 4.
- Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków w Poznaniu, Wielkopolski Wojewódzki Konserwator Zabytków, Akta zamek w Kole badania archeologiczne rok 1977.
- Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków w Poznaniu, Wielkopolski Wojewódzki Konserwator Zabytków, Akta zamek w Kole badania archeologiczne rok 1978.
- Wojewódzki Urząd Ochrony Zabytków w Poznaniu, Wielkopolski Wojewódzki Konserwator Zabytków, Akta zamek w Kole badania archeologiczne rok 1979–1981.

## **Comparison of inventory measurements for cultural heritage objects on the example of the ruins of the castle in Koło (Gozdów)**

**Abstract:** The subject of the work is a comparison of inventory measurement methods, on the example of a historic building. The materials subject to the study are the results of measurements in the ruins of the castle in Koło, carried out by members of the Cartography and Geomatics section of the Stanisław Pawłowski Student Research Group of Geographers of the Adam Mickiewicz University on January 20, 2023 and archival materials. A photogrammetric raid was carried out and the object was terrestrial laser scanned. Measurement methods were compared in terms of their usefulness in various fields of science. Possibilities of using the obtained research results were presented.

**Keywords:** inventory, laser scanning, photogrammetry, castle in Koło



*Artur Olejniczak, Anna Kostrzewa, Jakub Sanojca*

**Sekcja Geografii Społeczno-Ekonomicznej  
Studenckiego Koła Naukowego Geografów  
im. Stanisława Pawłowskiego UAM w Poznaniu**

## **Analiza rozwoju społeczno-gospodarczego województwa wielkopolskiego w latach 2005–2019**

**Zarys treści:** Rozwój społeczno-gospodarczy to proces obejmujący stałe przemiany ilościowe i jakościowe systemów społecznych i gospodarczych, które w nieodwracalny sposób tworzą i przekształcają systemy społeczne. Z racji swej złożoności proces ten jest trudno mierzalny. Badacze podejmujący problematykę rozwoju społeczno-gospodarczego próbują ująć go za pomocą metod wskaźnikowych, spośród których wyróżnia się wskaźnik syntetyczny Perkala. Celem poniższej pracy jest analiza poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego województwa wielkopolskiego w latach 2005–2019 za pomocą wcześniej wspomnianego wskaźnika syntetycznego Perkala. Badanie to przedstawia zróżnicowanie poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego oraz zmiany, jakie zaszły w poziomie rozwoju w badanym okresie.

**Słowa kluczowe:** rozwój społeczno-gospodarczy, wskaźnik syntetyczny Perkala, województwo wielkopolskie

### **Wprowadzenie**

Pojęcie rozwoju jest wieloznaczne i szeroko wykorzystywane w różnych kontekstach. Najczęściej pojmowane jest ono jako „proces przechodzenia z danego stanu lub formy do stanu lub formy bardziej rozwiniętej, złożonej, zaawansowanej” (Parysek, 2018, s. 38). Ważną cechą rozwoju jest jego długotrwały charakter oraz ukierunkowanie, ale także nieodwracalność tego procesu (Domański, 2004). Zatem tym, co wyróżnia rozwój od innych procesów, jest jego nieodwracalność, czyli brak możliwości powrotu do stanu wcześniejszego, jego długotrwały charakter oraz fakt, że rozwój zawsze ma wyznaczony kierunek działania oraz cel.

Podobnie jak sam rozwój, pojęcie rozwoju społeczno-gospodarczego jest wieloznaczne. Pisze o tym m.in. Ziemiańczyk (2010), która twierdzi, że zjawiska

takie jak rozwój społeczno-gospodarczy są bardzo trudne do jednoznacznej i obiektywnej oceny. Proponuje również pojmowanie rozwoju społeczno-gospodarczego jako procesu składającego się z dwóch składowych, czyli rozwoju gospodarczego i rozwoju społecznego. Procesy te trafnie definiuje Marciniak (2005), pisząc, że rozwój gospodarczy to sfera działalności ludzkiej skupiona na gospodarowaniu, produkcji i podziale dóbr i usług. Tak pojmowany rozwój gospodarczy prowadzić ma do udoskonalenia wszystkich jego czynników oraz wzrostu ilości i jakości dóbr i usług zaspokajających określone potrzeby. Dalej Marciniak (2005, s. 359–360) definiuje w swej publikacji rozwój społeczny. Jest on według tego autora „zmianą układu stosunków społecznych, struktury społeczeństwa, jego preferencji, społecznych kryteriów i zasad działalności, wzorców zachowań, postaw i świadomości służących doskonaleniu współżycia i współpracy ludzi i odpowiedniemu ich udziałowi w efektach rozwoju gospodarczego”. Reasumując, rozwój społeczno-gospodarczy można definiować jako proces obejmujący stałe przemiany ilościowe i jakościowe systemów społecznych i gospodarczych, które w nieodwracalny sposób tworzą i przekształcają systemy społeczne.

Złożoność zjawiska, jakim jest rozwój społeczno-gospodarczy, powoduje, że próby jego całościowego zmierzenia są wręcz niemożliwe. Badacze, pochylając się nad problematyką rozwoju społeczno-gospodarczego w ujęciu przestrzennym, najczęściej sięgają po metody wskaźnikowe. Jedną z nich jest wskaźnik syntetyczny Perkala, który składa się najczęściej z kilku do kilkunastu wskaźników składowych, opisujących poszczególne procesy gospodarcze i społeczne. Wskaźnik Perkala został wykorzystany w pracy Malkowskiego (2007), co pozwoliło na uzyskanie ogólnego obrazu przestrzennego zróżnicowania województw pod względem rozwoju gospodarczego. Z kolei Męczyński i in. (2010) do uporządkowania liniowego małych miast w Wielkopolsce ze względu na poziom rozwoju społeczno-gospodarczego również wykorzystali ten sam wskaźnik syntetyczny. Metodę tę w swych badaniach nad poziomem rozwoju społeczno-gospodarczego zastosowali też inni badacze z ośrodka poznańskiego, np. Czyż (2012), Dyba i Strykiewicz (2012) lub Churski (2013).

## Cel i zakres pracy

Celem niniejszego badania jest analiza poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego w województwie wielkopolskim w latach 2005–2019. W zakres pracy wchodzi następujące cele szczegółowe:

1. identyfikacja rozkładu przestrzennego powiatów województwa wielkopolskiego pod względem poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego w wybranych latach;
2. identyfikacja zmian w latach 2005–2019 w poziomie rozwoju społeczno-gospodarczego powiatów województwa wielkopolskiego.

Zakres przestrzenny badań obejmuje powiaty województwa wielkopolskiego, natomiast zakres czasowy pracy stanowią dane dla wybranych lat: 2005, 2012 oraz 2019.



## Metody badań

W swojej pracy Czyż (2016, s. 14) przedstawia wskaźniki poznawcze, a wśród nich wskaźnik syntetyczny, który „dotyczy wielocechowego opisu zjawiska i stanowi średnią wskaźników cząstkowych (w postaci zmiennych standaryzowanych)”. Przy analizie poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego w województwie wielkopolskim wykorzystano wskaźnik syntetyczny Perkala, wyrażany wzorem:

$$W_i = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^p z_{ij}$$

gdzie:

- $z_{ij}$  = standaryzowana wartość wskaźnika cząstkowego  $j$  dla obiektu  $i$ ,
- $p$  = liczba wskaźników cząstkowych.

Postępując zgodnie z przyjętą procedurą budowania wskaźnika, przystąpiono do doboru zmiennych (wskaźników cząstkowych). Do określenia poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego w województwie wielkopolskim zostało wykorzystanych dwanaście wskaźników: 1) centra kultury, domy i ośrodki kultury, kluby i świetlice na 10 tys. ludności; 2) udział ludności korzystającej z sieci gazowej (%); 3) udział ludności korzystającej z sieci wodociągowej (%); 4) współczynnik skolaryzacji netto w szkołach podstawowych (%); 5) liczba przychodni na 10 tys. ludności; 6) przeciętna powierzchnia użytkowa mieszkania na 1 osobę; 7) przyrost naturalny na 1000 ludności; 8) udział ludności w wieku produkcyjnym (%); 9) przeciętne miesięczne wynagrodzenia brutto; 10) podmioty na 1000 mieszkańców w wieku produkcyjnym; 11) dochody własne na 1 mieszkańca; 12) stopa bezrobocia rejestrowanego (%).

Wśród nich wyróżnić można jedenaście stymulant i jedną destymulantę (stopa bezrobocia rejestrowanego). Ze względu na różne wagi i miana zmiennych, konieczne było dokonanie standaryzacji zmiennych, co prowadzi do eliminacji jednostek miary i wyrównania wartości zmiennych. Standaryzacji zmiennych dokonuje się według odmiennych wzorów dla stymulanty i destymulanty:

- wskaźnik – stymulanta:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j}$$

- wskaźnik – destymulanta:

$$z_{ij} = \frac{\bar{x}_j - x_{ij}}{S_j}$$

gdzie:

- $S_j$  – odchylenie standardowe populacji,

- $\bar{x}$  – wartość arytmetyczna dla wskaźnika,
  - $x_{ij}$  – wartość danego wskaźnika dla danej jednostki.
- Odchylenie standardowe populacji określone jest następująco:

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{N}}$$

Uzyskane wyniki pozwoliły na zbudowanie sformułowanego przez Perkala wskaźnika syntetycznego, który umożliwił pięciostopniową klasyfikację powiatów ze względu na wartość wskaźnika:

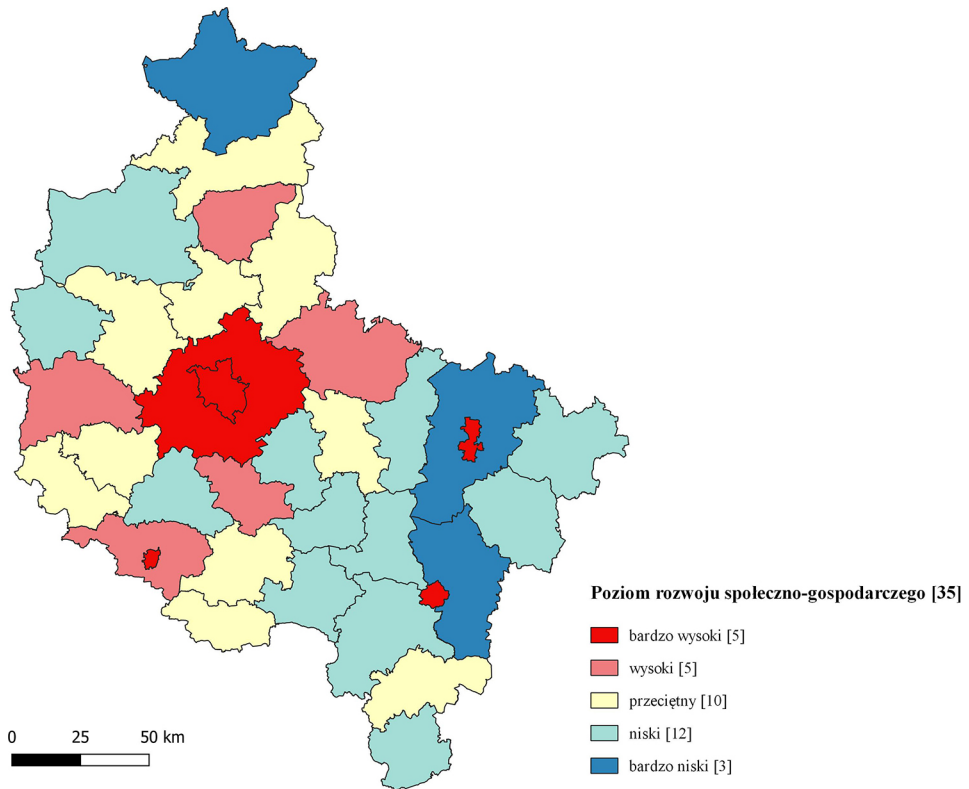
- $W_i < -0,5$  – bardzo niski poziom rozwoju społeczno-gospodarczego,
- $-0,5 < W_i < -0,1$  – niski poziom rozwoju społeczno-gospodarczego,
- $-0,1 < W_i < 0,1$  – przeciętny poziom rozwoju społeczno-gospodarczego,
- $0,1 < W_i < 0,5$  – wysoki poziom rozwoju społeczno-gospodarczego,
- $0,5 < W_i$  – bardzo wysoki poziom rozwoju społeczno-gospodarczego.

## Analiza poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego województwa wielkopolskiego

Poniższy rozdział zawiera szczegółową analizę wyników przeprowadzonego przez autorów badania. Wyniki te zaprezentowane zostały w formie tabel oraz za pomocą kartogramów.

Jak można zauważyć na rycinie 1, najwyższym poziomem rozwoju społeczno-gospodarczego w 2005 roku charakteryzowały się miasta na prawach powiatu: Poznań, Leszno, Konin, Kalisz oraz powiat poznański tworzący razem z Poznaniem aglomerację poznańską (Kaczmarek, 2008; Konecka-Szydłowska, 2016). Jednostki te wyróżnia na tle innych powiatów: wysoki udział ludności korzystającej z sieci gazowej, dobra dostępność do podstawowej opieki medycznej, o wiele wyższe przeciętne wynagrodzenie brutto oraz koncentracja podmiotów gospodarczych na ich terenie, co przekłada się również na o wiele wyższy dochód własny per capita w tych jednostkach. Wynika to z ogromnego potencjału ludnościowego oraz przede wszystkim gospodarczego i dochodowego, jakim dysponują miasta na prawach powiatu (Dylewski, Stasik, 2012). Innym czynnikiem kształtującym tak wysoki rozwój tych powiatów może być większa atrakcyjność inwestycyjna, wynikająca z koncentracji funkcji administracyjnych oraz wyższej dostępności komunikacyjnej największych ośrodków miejskich.

Najniższe wartości wskaźnika syntetycznego Perkala odnotowane zostały w 2005 roku w powiecie złotowskim na północy województwa oraz w powiatach kaliskim i konińskim przylegających do miast Kalisza oraz Konina, które należały do grupy najlepiej rozwiniętych jednostek. Na sytuację tę miały wpływ głównie trzy czynniki: bardzo niski odsetek ludności korzystającej z sieci gazowej, mała



Ryc. 1. Poziom rozwoju społeczno-gospodarczego w powiatach województwa wielkopolskiego w 2005 roku

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Banku Danych Lokalnych GUS.

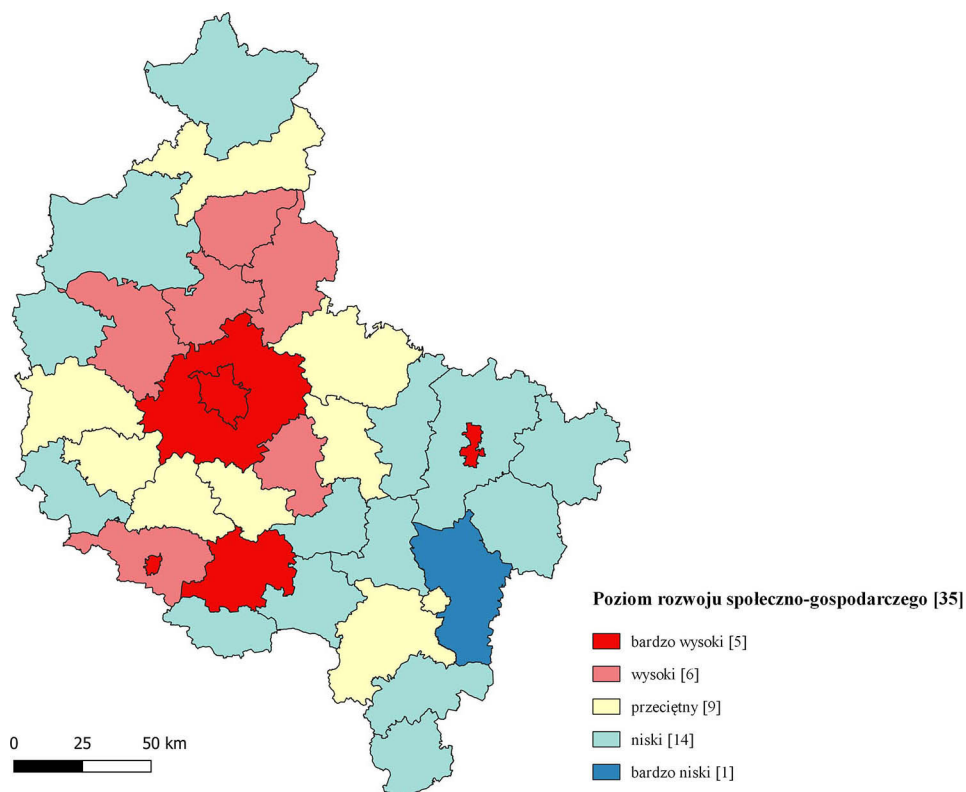
Fig. 1. The level of socio-economic development in counties of the Wielkopolskie Voivodship in 2005

liczba podmiotów gospodarczych na 1000 mieszkańców oraz niski dochód własny per capita.

Powyższe wyniki można porównywać z badaniami innych autorów, np. Dyby i Strykiewicza (2012), którzy wykorzystując wskaźnik syntetyczny Perkala, wykazali, że najwyższym poziomem rozwoju charakteryzuje się aglomeracja poznańska. Podkreślają oni również fakt, że regionem mniej rozwiniętym od pozostałych jest wschodnia część województwa wielkopolskiego. Warto zauważyć, że wyniki wymienionych autorów nie są identyczne z wynikami przedstawionymi w poniższym artykule, co jest spowodowane doбором różnych wskaźników cząstkowych składających się na wskaźnik syntetyczny Perkala. Niemniej jednak najważniejsze prawidłowości i różnice w poziomie rozwoju społeczno-gospodarczego w województwie wielkopolskim w obu badaniach są bardzo podobne.

Analiza poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego w 2012 roku (ryc. 2) pozwala zauważyć, że pozycja Poznania, Leszna, Konina oraz powiatu poznańskiego nie uległa zmianie w stosunku do poprzedniego badanego okresu. Do grupy

najlepiej rozwiniętych powiatów dołączył powiat gostyński. Głównym czynnikiem wzrostu poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego w tej jednostce był rozwój infrastruktury kulturalnej oraz technicznej. Duży wpływ miał również wzrost wartości współczynnika skolaryzacji netto. Jak można dostrzec, aglomeracja poznańska w analizowanym okresie korzystnie oddziaływała na otaczające ją powiaty. Wskazuje na to brak jednostek słabo rozwiniętych w bliskim sąsiedztwie miasta wojewódzkiego. Na tle innych jednostek ponadlokalnych wyróżnia się powiat kaliski, który jako jedyny w 2012 roku uznany został za powiat o bardzo niskim poziomie rozwoju społeczno-gospodarczego.



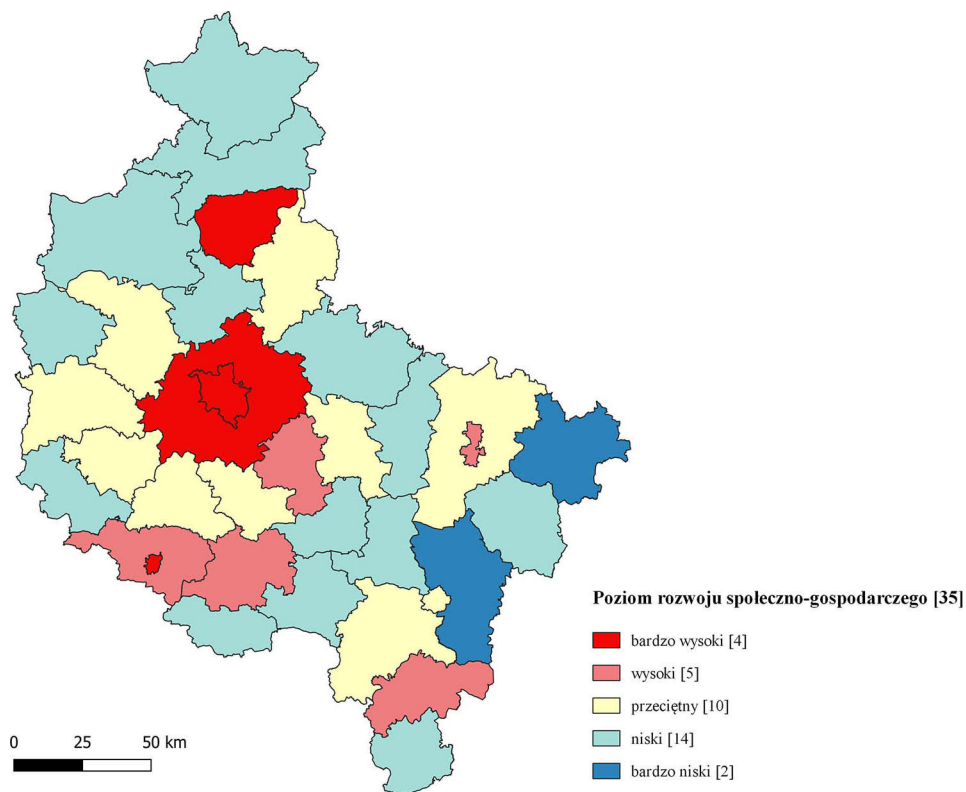
Ryc. 2. Poziom rozwoju społeczno-gospodarczego w powiatach województwa wielkopolskiego w 2012 roku

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Banku Danych Lokalnych GUS.

Fig. 2. The level of socio-economic development in counties of the Wielkopolskie Voivodship in 2012

Odnosząc powyższe wyniki chociażby do badań Wojciechowskiego (2014), należy stwierdzić, że w obu przypadkach ponownie widać różnice w poziomie rozwoju społeczno-gospodarczego pomiędzy częścią wschodnią i południową województwa a jego częścią centralną, w której poziom rozwoju jest wyższy.

Tak jak w dwóch poprzednich obserwacjach, w 2019 roku najwyższym poziomem rozwoju charakteryzowały się miasta na prawach powiatu: Poznań oraz Leszno (ryc. 3), a także powiaty poznański i chodzieski. Tak wysoka pozycja powiatu chodzieskiego jest wynikiem ciągłych pozytywnych zmian oraz rozwoju tego powiatu przez ostatnie 14 lat. Widoczne jest zmniejszenie poziomu rozwoju w powiatach otaczających aglomerację poznańską. Jeżeli wcześniej powiaty te cechowały się w dużej mierze wysokim lub przeciętnym poziomem rozwoju (por. ryc. 2), to w 2019 roku zaliczane były one do grup powiatów o przeciętnym lub niskim poziomie rozwoju społeczno-gospodarczego. Wpływ na to miały przede wszystkim pogłębiające się problemy demograficzne oraz spadek współczynnika skolaryzacji netto w okresie 2012–2019. Najniższym poziomem rozwoju społeczno-gospodarczego natomiast wyróżniały się dwa powiaty: kaliski oraz kolski. Warto też zwrócić uwagę na zmianę, jaka zaszła w miastach na prawach powiatu – Kaliszu i Koninie – oraz w sąsiadujących z nimi jednostkach. Jak wspomniano,



Ryc. 3. Poziom rozwoju społeczno-gospodarczego w powiatach województwa wielkopolskiego w 2019 roku

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Banku Danych Lokalnych GUS.

Fig. 3. The level of socio-economic development in counties of the Wielkopolskie Voivodship in 2019

Tabela 1. Wartość wskaźnika syntetycznego Perkala oraz rangi dla powiatów województwa wielkopolskiego w wybranych latach

Table 1. The value of the Perkal's synthetic indicator and the ranks for counties of the Wielkopolskie Voivodship in selected years

Powiaty	2005		2012		2019		Zmiana w latach 2005–2019	
	Wi	ranga	Wi	ranga	Wi	ranga		
chodzieski	0,11	10	0,32	6	0,55	4	^	0,44
czarnkowsko- trzcianecki	-0,48	32	-0,21	23	-0,28	28	^	0,20
gnieźniński	0,14	8	-0,01	18	-0,17	23	v	-0,31
gostyński	0,03	15	0,56	5	0,39	6	^	0,35
grodziski	-0,05	18	-0,07	19	-0,06	17	^	-0,01
jarociński	-0,34	28	-0,29	27	-0,34	30	v	0,01
kaliski	-0,83	34	-0,92	35	-0,51	34		0,32
kępiński	-0,22	25	-0,43	32	-0,22	25		0,00
kolski	-0,42	30	-0,45	33	-0,52	35	v	-0,10
koniński	-0,57	33	-0,25	24	-0,08	19	^	0,49
kościański	-0,15	23	0,01	16	0,09	10	^	0,24
krotoszyński	-0,19	24	-0,33	29	-0,29	29	v	-0,09
leszczyński	0,17	7	0,19	9	0,24	8	v	0,08
międzychodzki	-0,30	27	-0,40	30	-0,36	31	v	-0,07
nowotomyski	0,13	9	0,04	14	-0,06	18	v	-0,20
obornicki	-0,05	19	0,12	11	-0,20	24	v	-0,15
ostrowski	-0,14	22	-0,09	20	-0,06	16	^	0,08
ostrzeszowski	-0,08	20	-0,20	22	0,11	9	^	0,20
pilski	0,04	13	0,01	17	-0,14	22	v	-0,17
pleszewski	-0,37	29	-0,32	28	-0,23	26	^	0,13
poznański	0,56	5	0,66	4	0,60	3	^	0,04
rawicki	0,08	12	-0,19	21	-0,24	27	v	-0,33
słupecki	-0,27	26	-0,29	26	-0,11	21	^	0,16
szamotulski	0,03	14	0,21	7	0,09	11	^	0,05
średzki	-0,13	21	0,19	8	0,32	7	^	0,45
śremski	0,17	6	0,04	13	-0,04	15	v	-0,22
turecki	-0,47	31	-0,47	34	-0,40	32	v	0,06
wągrowiecki	-0,04	17	0,15	10	-0,02	14	^	0,02
wolsztyński	0,08	11	-0,26	25	-0,10	20	v	-0,19
wrzesiński	0,02	16	0,04	15	-0,02	13	^	-0,03
złotowski	-0,87	35	-0,42	31	-0,49	33	^	0,38
m. Kalisz	0,61	4	0,05	12	0,03	12	v	-0,58
m. Konin	1,03	3	0,72	3	0,49	5	v	-0,54
m. Leszno	1,09	2	0,87	2	0,61	2		-0,48
m. Poznań	1,68	1	1,43	1	1,42	1		-0,26

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Banku Danych Lokalnych GUS.



oba te miasta w 2005 roku należały do najlepiej rozwiniętych (por. ryc. 1). Sytuacja ta stopniowo się zmieniła w latach 2012 (por. ryc. 2) i 2019 (por. ryc. 3), kiedy to miasta te charakteryzowały się niższym poziomem rozwoju w stosunku do roku 2005. Swój potencjał rozwojowy za to zwiększyły w tym okresie sąsiadujące z tymi miastami obszary, co jasno pokazuje, że z upływem lat Kalisz oraz Konin straciły na znaczeniu na rzecz sąsiadujących z nimi jednostek (powiaty ostrowski, pleszewski, kaliski, koniński).

W tabeli 1 przedstawiono wartość wskaźnika syntetycznego Perkala oraz pozycję poszczególnych powiatów w latach objętych badaniem. Jak widać w badanych latach, Poznań oraz Leszno niezmiennie były najbardziej rozwiniętymi powiatami w województwie wielkopolskim. Największe zmiany rang na tle wszystkich powiatów odnotowano w powiatach: gnieźnieńskim, rawickim, konińskim i średzkim. Pierwsze dwie jednostki spadły o 15 pozycji, co oznacza, że najbardziej utraciły na znaczeniu pod względem rozwojowym. Natomiast powiaty koniński i średzki umocniły swoje pozycje w województwie, na co wskazuje ich awans o 14 pozycji w hierarchii województwa w ciągu badanych 14 lat. Tym, na co warto zwrócić uwagę, jest zmiana znaczenia Kalisza w powyższym zestawieniu. W badanym okresie spadł on z 4 miejsca w 2005 roku na 12 w roku 2019. Zmiana ta wynika z niekorzystnych zjawisk demograficznych oraz spadku współczynnika skolaryzacji netto.

Analizując zmiany wartości wskaźnika syntetycznego Perkala w badanych latach, należy stwierdzić, że największy wzrost charakteryzował powiaty koniński (+0,49) i średzki (+0,45), czego odzwierciedleniem jest pozytywna zmiana w hierarchii powiatów województwa wielkopolskiego. Dużym wzrostem wartości wskaźnika Perkala może się też poszczycić powiat chodzieski (+0,44). Inaczej sytuacja kształtowała się, jeśli chodzi o największe spadki wartości omawianego wskaźnika, które cechowały miasta na prawach powiatu: Kalisz (-0,58), Konin (-0,54) oraz Leszno (-0,48). Również Poznań odnotował w ciągu analizowanych lat spadek wartości wskaźnika Perkala (-0,26). Jednakże sytuacja ta nie spowodowała utraty przez te jednostki swoich pozycji, poza wcześniej wspomnianym Kaliszem, którego pozycja spadła o 8 miejsc.

## **Podsumowanie**

Wyniki przedstawionego powyżej badania pozwalają stwierdzić, że istnieją znaczące różnice rozwojowe pomiędzy powiatami województwa wielkopolskiego. Różnice te zmalały w latach 2005–2019, na co może wskazywać zmniejszenie się różnicy wartości wskaźnika Perkala pomiędzy najbardziej i najmniej rozwiniętymi powiatami z poziomu 2,55 do 1,94. Można przypuszczać, że w badanym okresie wystąpiło zjawisko konwergencji, co należy uznać za proces pozytywny. Trzeba też stwierdzić, że wszystkie miasta na prawach powiatu charakteryzowały się spadkiem wskaźnika Perkala w analizowanym okresie. Pomimo tego Poznań i Leszno pozostały najbardziej rozwiniętymi jednostkami w województwie, czego nie udało się dokonać Koninowi i Kaliszowi, których pozycja sukcesywnie spada na rzecz otaczających je jednostek.

Na podstawie analizy samych opracowań kartograficznych (por. ryc. 1–3) można wysunąć niewłaściwe wnioski, że w 2012 roku województwo wielkopolskie osiągnęło najwyższy poziom rozwoju ze względu na największy udział jednostek o wysokim i bardzo wysokim poziomie rozwoju społeczno-gospodarczego. Jest to mylne stwierdzenie, gdyż wskaźnik Perkala odnosi się do poziomu rozwoju danej jednostki względem innych jednostek w danym roku, co nie oznacza zawsze rzeczywistego wzrostu rozwoju w danej jednostce. Na podstawie uzyskanych danych można zauważyć, że w badanym okresie aż siedem wskaźników wykazało polepszenie się sytuacji społeczno-gospodarczej w powiatach województwa wielkopolskiego. Są nimi: dostępność do sieci wodociągowej, średnie wynagrodzenie brutto, liczba przychodni oraz podmiotów gospodarczych w przeliczeniu na 1000 mieszkańców oraz przeciętna powierzchnia użytkowa mieszkania, dochód własny per capita i sukcesywnie obniżająca się stopa bezrobocia. Negatywnym zjawiskiem są zwiększające się problemy demograficzne w województwie, na co wskazuje sukcesywny spadek wartości wskaźników skolaryzacji netto w szkołach podstawowych, przyrostu naturalnego na 1000 mieszkańców oraz udziału ludności w wieku produkcyjnym.

Istotnym wnioskiem wynikającym z badania jest stwierdzenie występowania zjawiska konwergencji. Jest to zjawisko korzystne, gdyż zmniejszanie się różnic rozwojowych powinno być celem prowadzonej przez samorząd i państwo polityki rozwoju. Najpoważniejszym wyzwaniem dla rozwoju województwa wielkopolskiego są niekorzystne procesy demograficzne, którym należy zdecydowanie przeciwdziałać. Jednakże są one wyzwaniem nie tylko dla województwa wielkopolskiego, lecz także innych regionów Polski i państw europejskich.

## Literatura

- Churski P., 2013, Zmienność rozkładu przestrzennego obszarów wzrostu i obszarów stagnacji gospodarczej w Polsce – uwarunkowania i konsekwencje, *Studia Komitetu Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN*, 153: 112–128.
- Czyż T., 2012, Poziom rozwoju społeczno-gospodarczego Polski w ujęciu subregionalnym, *Przegląd Geograficzny*, 84: 219–236.
- Czyż T., 2016, Metoda wskaźnikowa w geografii społeczno-ekonomicznej, *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, 34: 9–19.
- Domański B., 2004, Krytyka pojęcia rozwoju a studia regionalne, *Studia Regionalne i Lokalne*, 16: 7–23.
- Dyba W., Strykiewicz T., 2012, Zróżnicowanie poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego gmin województwa wielkopolskiego w świetle realizacji polityki intraregionalnej, *Biuletyn Instytutu Geografii Społeczno-Ekonomicznej i Gospodarki Przestrzennej UAM, Seria Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, 19.
- Dylewski M., Stasik B., 2012, Rola i znaczenie miast na prawach powiatu w realizacji zadań publicznych, *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej w Poznaniu*, 41: 49–60.
- Kaczmarek T., 2008, Aglomeracja poznańska jako region badania i działania, [w:] T. Kaczmarek, A. Mizgajski (red.), *Powiat poznański. Jakość przestrzeni i jakość życia*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.

- Konecka-Szydłowska B., 2016, Powiązania społeczno-gospodarcze i znaczenie małych miast aglomeracji poznańskiej, *Studia Ekonomiczne, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, 279: 162–177.
- Malkowski A., 2007, Wielowymiarowa analiza przestrzennego zróżnicowania rozwoju społeczno-gospodarczego województw w latach 1999–2004, *Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie*.
- Marciniak S., 2005, Makro- i mikroekonomia. Podstawowe problemy, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Męczyński M., Konecka-Szydłowska B., Gadziński J., 2010, Poziom rozwoju społeczno-gospodarczego i klasyfikacja małych miast w Wielkopolsce, *Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań*.
- Parysek J.J., 2018, Rozwój społeczno-gospodarczy oraz czynniki i uwarunkowania rozwoju, *Studia Komitetu Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN*, 183: 37–56.
- Wojciechowski J., Aktywność i skuteczność beneficjentów w ramach wdrażania lokalnej strategii rozwoju przez Lokalną Grupę Działania w Polsce na przykładzie Stowarzyszenia LGD Puszcza Notecka, *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, 28: 99–114.
- Ziemiańczyk U., 2010, Ocena poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego gmin wiejskich i miejsko-wiejskich w województwie małopolskim, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 14: 31–40.

## **Analysis of socio-economic development of Wielkopolskie voivodship in 2005–2019**

**Abstract:** Socio-economic development is a process involving constant quantitative and qualitative changes in social and economic systems, which irreversibly create and transform social systems. Due to its complexity, this process is difficult to measure. Researchers dealing with the issue of socio-economic development try to capture it using indicator methods, among which Perkal's synthetic indicator stands out. The aim of the following work is to analyze the level of socio-economic development of the Wielkopolskie Voivodship in the years 2005–2019 using the previously mentioned Perkal's synthetic indicator. This study presents the differentiation of the level of socio-economic development and the changes that have occurred in the level of development during the analyzed period.

**Keywords:** socio-economic development, Perkal's synthetic indicator, Wielkopolskie Voivodship