

GEOPRZESTRZEŃ

9

**Przestrzeń geograficzna –
metody badań, analiza, wykorzystanie**

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

GEPRZESTRZEŃ

9

**Przestrzeń geograficzna –
metody badań, analiza, wykorzystanie**

Bogucki Wydawnictwo Naukowe
Poznań 2025



Wydano przy wsparciu finansowym Wydziału Nauk
Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Redaktor: Andrzej Kostrzewski

Zastępca redaktora: Dawid Abramowicz

Sekretarz: Jakub Woźniak

Komitety redakcyjne: Andrzej Kostrzewski (przewodniczący), Dawid Abramowicz,
Roman Bednarek, Małgorzata Cichoń, Anna Dmowska, Tymoteusz Horbiński,
Ditta Kicińska, Leszek Kolendowicz, Tomasz Kossowski, Mikołaj Majewski,
Paweł Matulewski, Renata Paluszkiewicz, Grzegorz Rachlewicz, Maciej Smaczyński,
Filip Wolny, Jakub Woźniak, Dariusz Wrzeński, Zbigniew Zwoliński

Recenzenci: Ewa Bednorz, Jakub Ceglarek, Bartosz Czernecki, Anna Dmowska,
Joanna Dominiak, Tymoteusz Horbiński, Marta Kubacka, Magdalena Kugiejko,
Mikołaj Majewski, Monika Okońska, Marek Półrolniczak, Michał Rzeszewski,
Marcin Winowski

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

ISBN 978-83-7986-563-5

Bogucki Wydawnictwo Naukowe
ul. Górna Wilda 90, 61-576 Poznań
www.bogucki.com.pl, e-mail: biuro@bogucki.com.pl

Druk i oprawa: PerfektDruk

Spis treści

I. Zasoby przyrodnicze – badania, ochrona	7
<i>Jakub Stefaniak, Maciej Major, Małgorzata Stefaniak</i> Charakterystyka parametrów morfometrycznych zlewni Różanego Strumienia na podstawie unaczęśnionej granicy i mapy hydrograficznej zlewni	9
<i>Konstancja Cichocka, Anna Stasiewicz, Magdalena Skowron, Adrian Nolka, Natalia Jurkiewicz, Kinga Bojkowska, Jerzy Borowicz, Sara Koniec, Maciej Major, Maria Chudzińska</i> Krótkookresowe wahania właściwości fizykochemicznych wód Różanego Strumienia	25
<i>Sebastian Kendzierski, Bartosz Czernecki, Leszek Kolendowicz</i> Ocena jakości prognoz krótkoterminowych modelu WRF dla obszaru Poznania	37
<i>Martyna Górecka</i> Termiczne dni charakterystyczne i skrajne obciążenia cieplne człowieka w Łebie oraz ich cyrkulacyjne uwarunkowania	55
<i>Dawid Kozar, Magdalena Skowron, Tomasz Ślusarczyk, Kinga Bojkowska, Natalia Jurkiewicz, Adrian Nolka, Ada Omińska, Konstancja Cichocka</i> Wpływ warunków meteorologicznych na liczbę wypadków i kolizji drogowych w Poznaniu w latach 2020–2023	75
II. Człowiek w środowisku geograficznym	87
<i>Jakub Sanojca, Oliwia Kapuścińska, Sara Koniec, Duszan Parol</i> Zmiany struktury i rozkładu przestrzennego działalności gospodarczej na obszarze Starego Miasta w Poznaniu	89
<i>Alicja Pawelska, Anna Michalska, Michalina Adasiak, Sara Koniec</i> Efektywność funkcjonowania systemu gospodarki odpadami miasta Międzyzdroje	107
<i>Karolina Romanowicz, Paulina Gadacz, Alicja Pawelska, Oliwia Kapuścińska, Sara Koniec</i> Świadomość ekologiczna wśród turystów i mieszkańców miasta Międzyzdroje	123
<i>Julia Pulik, Oliwia Kapuścińska, Monika Szatkowska, Alicja Pawelska, Sara Koniec, Valiantsina Makarevich</i> Sztuka rekreacji – analiza motywów w malarstwie i ich edukacyjna adaptacja na przykładzie Muzeum Narodowego w Poznaniu	135

III. Metody badań przestrzeni geograficznej	151
<i>Wojciech Karczewski, Jakub Woźniak, Dawid Łyszczasz, Radosław Jagła</i>	
Metody pozyskiwania i prezentacji danych przestrzennych w kontekście ochrony dziedzictwa kulturowego – analiza i porównanie cech	153
<i>Jakub Woźniak</i>	
Analiza jakościowa symboli punktowych reprezentujących obiekty związane z pieszą turystyką górską na przykładzie wybranych aplikacji mapowych	175
<i>Aleksandra Osses, Daria Powalowska, Magdalena Lehmann</i>	
Porównanie użyteczności grafiki 3D i 2D w zakresie edukacji o rzeźbie glacialnej na przykładzie Łądołodu Patagońskiego Południowego	191
<i>Cyprian Święch, Zofia Czerwińska, Marcin Jaremko, Klaudia Bezler</i>	
Tworzenie wirtualnej przestrzeni z wykorzystaniem dostępnych danych przestrzennych	215

I. Zasoby przyrodnicze – badania, ochrona

¹Absolwent Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

²Stacja Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego
„Poznań-Morasko”

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
ul. B. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań
kubastefaniak@gmail.com, maciej.major@amu.edu.pl,
m.stefaniak@amu.edu.pl

Jakub Stefaniak¹, Maciej Major², Małgorzata Stefaniak²

Charakterystyka parametrów morfometrycznych zlewni Rózanego Strumienia na podstawie unacześnionej granicy i mapy hydrograficznej zlewni

Zarys treści: Celem pracy była charakterystyka sieci hydrograficznej i opracowanie warstw tematycznych wód powierzchniowych na obszarze zlewni Rózanego Strumienia z zastosowaniem technik GIS. Wykonanie aktualnej mapy hydrograficznej poprzedziła weryfikacja dotychczasowej granicy zlewni Rózanego Strumienia z wykorzystaniem materiałów kartograficznych oraz poprzez przeprowadzony rekonesans terenowy. W celu utworzenia mapy niezbędne okazały się dane z Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT), mapy topograficzne, dane cyfrowe, a także mapa hydrograficzna Poznania. W niniejszej pracy przedstawiono charakterystyki morfometryczne zlewni Rózanego Strumienia, takie jak: obwód, powierzchnia, długość, średnia szerokość zlewni, wskaźniki wydłużenia i kolistości, deniwelacja terenu, średnia wysokość zlewni i wskaźnik rzeźby zlewni Strahlera. Na podstawie przeprowadzonych analiz geoinformacyjnych w pracy zaprezentowano również parametry dotyczące Rózanego Strumienia, takie jak: wskaźnik rozwinięcia rzeki i spadek wyrównany rzeki.

Słowa kluczowe: zlewnia Rózanego Strumienia, wody powierzchniowe, mapa hydrograficzna, parametry hydrologiczne, Systemy Informacji Geograficznej

Wprowadzenie

W warunkach narastającej presji antropogenicznej konieczne stało się prowadzenie ciągłego monitoringu aktualnego stanu i zmian zachodzących w wodach powierzchniowych i podziemnych. Badania hydrologiczne poświęcają dużo uwagi m.in. identyfikacji i modelowaniu naturalnych i sztucznych stosunków wodnych. Dzięki temu potrafimy stawiać prognozy i opracowywać alternatywne rozwiązania dla sytuacji, które mogą zaistnieć na skutek działania czynników naturalnych i antropogenicznych (Jokić 2017).

W pracy scharakteryzowana została sieć hydrograficzna zlewni Różanego Strumienia położonej w północnej części Poznania, będącej pod wpływem narastającej presji antropogenicznej. Technologie geoinformacyjne przyczyniły się do wytyczenia „nowej” granicy zlewni Różanego Strumienia i wykonania mapy hydrograficznej badanego obszaru. Wykorzystując możliwości oprogramowania GIS uzyskano wartości, dzięki którym obliczone zostały liczne parametry morfometryczne zlewni.

Wykonana mapa hydrograficzna oraz obliczone charakterystyki morfometryczne i hydrologiczne zlewni Różanego Strumienia stanowią cenne źródło informacji oraz mają charakter aplikacyjny.

Obiektem badań Stacji Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Poznań-Morasko jest właśnie zlewnia Różanego Strumienia o powierzchni 7,7 km² i długości głównego cieku 6,9 km. Jest to także pierwsza Stacja Bazowa w programie ZMŚP w Polsce działająca w granicach dużej aglomeracji miejskiej i podlegająca silnej presji antropogenicznej (Major i in. 2017, 2021, 2022). Program badań ZMŚP dostarcza porównywalnych, wieloletnich serii obserwacyjnych, które umożliwiają wykorzystanie ogromnych ilości danych. Zweryfikowane dane, jako efekt realizacji 17 programów pomiarowych, stanowią podstawę oceny stanu środowiska przyrodniczego monitorowanej zlewni, umożliwiając określenie skali przemian środowiskowych, jak również wykorzystywane są w studiach prognostycznych (Kostrzewski i in. 2021).

W związku z rozwojem technologicznym dostarczającym nowoczesnych i bardzo dokładnych metod badawczych wyniknęła potrzeba wyznaczenia nowej, uaktualnionej granicy zlewni.

Cel i zakres badań

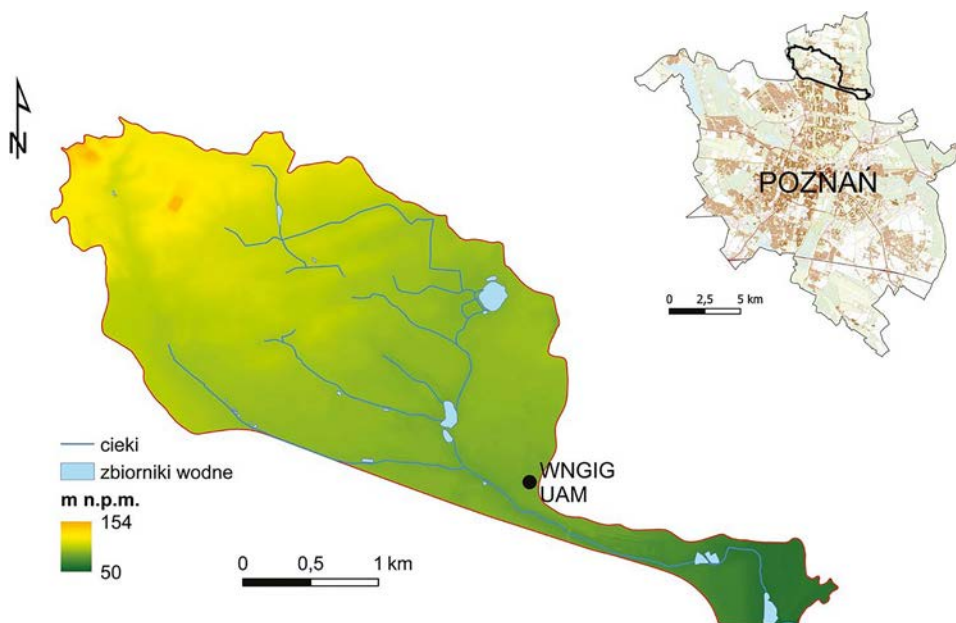
Podstawowym problemem pracy była charakterystyka sieci hydrograficznej oraz opracowanie warstw tematycznych wód powierzchniowych w zlewni Różanego Strumienia z zastosowaniem technik GIS i na tej podstawie obliczenie parametrów hydrologicznych badanej zlewni. Do tak sformułowanego problemu dostosowano następujące cele badawcze, którymi były weryfikacja i unaczęśnienie granicy zlewni Różanego Strumienia, wykonanie mapy hydrograficznej obszaru badań oraz charakterystyka morfometryczna i hydrologiczna sieci wód powierzchniowych w badanej zlewni.

Charakterystyka obszaru badań

Zlewnia Różanego Strumienia zlokalizowana jest w północnej części Poznania i zajmuje powierzchnię około 7,7 km² (ryc. 1). Według podziału fizycznogeograficznego Richlinga i in. (2021), badana zlewnia znajduje się w obrębie dwóch mezoregionów: Pojezierza Poznańskiego (315.51) i Poznańskiego Przełomu Warty (315.52). Oba wymienione obszary stanowią część makroregionu Pojezierze Wielkopolskie (315.5).

Zgodnie z podziałem geomorfologicznym zaproponowanym przez Krygowskiego (1961), zlewnia znajduje się w obrębie Wysoczyzny Poznańskiej. Reprezentuje typowy krajobraz młodogłacjalny i znajduje się w obrębie strefy marginalnej stadiału poznańskiego zlodowacenia bałtyckiego (Galon 1972). Analizowany obszar charakteryzuje się znacznymi deniwelacjami, przekraczającymi 100 m. Najwyższy punkt zlewni – Góra Moraska, będąca zarazem najwyższym wzniesieniem miasta Poznania, wznosi się na wysokość 154 m n.p.m. Z kolei najniższy punkt, w miejscu ujścia Różanego Strumienia do Warty, znajduje się na wysokości około 50 m n.p.m.

W północnej części Poznania, w tym w zlewni Różanego Strumienia, wyróżnia się wysoczyznę morenową falistą, równiny sandrowe, wały moren akumulacyjnych oraz plejstocénskie równiny terasowe (Rosa, Kozarski, 1980). W samej zlewni wyróżniają się trzy główne formy rzeźby polodowcowej. Na północy znajduje się ciąg pagórów czołowomorenowych z kulminacją na Górze Moraskiej. Ponadto w okolicy rezerwatu Meteoryt Morasko występuje między innymi wysoczyzna



Ryc. 1. Lokalizacja zlewni Różanego Strumienia w Poznaniu (Major i in. 2022)

Fig. 1. Location of the Różany Strumień catchment in Poznań

morenowa falista, której wysokość waha się od 102 do 110 m n.p.m. Na południe od moren czołowych rozciąga się równina sandrowa, tzw. Sandr Naramowicki.

W związku z działalnością łądolodu plejstocenijskiego litologia w zlewni Różanego Strumienia jest urozmaicona. Wśród utworów powierzchniowych największe powierzchnie zajmują gliny zwałowe, piaski i żwiry (Chmał 1990). Z kolei wśród gleb dominują gleby brunatne i rdzawe. Na obszarach porośniętych lasami przeważają gleby brunatne wyługowane, a w okolicy Góry Moraskiej – gleby rdzawe i rdzawe brunatne. W obniżeniach terenu zalegają utwory bagienne – torfy i mursze (Moczko 2012).

Głównym ciekim w zlewni jest lewobrzeżny dopływ Warty – Różany Strumień, o długości 6,9 km. Źródło strumienia zlokalizowane jest w mokradle położonym na południowy wschód od Góry Moraskiej. Pozostała sieć cieków ma charakter okresowy. Największy dopływ Różanego Strumienia stanowi ciek płynący z Hub Moraskich i Umultowa. W dolnej części zlewni, w okolicach ujścia Różanego Strumienia do Warty, znajdują się stawy rybne oraz zbiornik retencyjny.

Zlewnia Różanego Strumienia jest przykładem obszaru poddawanego procesowi silnej presji antropogenicznej. W strukturze użytkowania ziemi dominują użytki zielone (30,3%), lasy (22,2%) i grunty orne (20,3%). Znaczący udział mają również tereny zurbanizowane (17,4%), które występują w centralnej części zlewni. Istotny wpływ na kształtowanie krajobrazu tej zlewni ma postępująca, trwająca od 1999 roku, rozbudowa Kampusu Morasko, który obecnie skupia wiele wydziałów i jednostek Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza. Postępujący proces przeobrażania naturalnej zlewni w zlewnię o cechach typowych dla obszarów zurbanizowanych polega z jednej strony na wkraczaniu na jej teren budownictwa mieszkaniowego i związanej z nim infrastruktury komunalnej, drogowej itp., a z drugiej na zmianie stosunków wodnych (Major i in. 2016, 2022).

Metodyka badań i źródła danych

Materiał dokumentacyjny stanowiły mapy topograficzne w skali 1:10 000, w wersji cyfrowej: N-33-130-D-b-1 POZNAŃ-OSIEDLE JANA III SOBIESKIEGO, N-33-130-D-b-2 CZERWONAK, N-33-130-D-b-4 POZNAŃ-NARAMOWICE, opracowane w 1998 roku przez Główny Urząd Geodezji i Kartografii. Kolejnymi materiałami kartograficznymi były diapozytywy pozyskane z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej: 42311_C.PL.1956.329, 423112.C.PL.1956.330. Mapy topograficzne oraz diapozytywy były podstawą weryfikacji i wyznaczenia „nowej” granicy zlewni Różanego Strumienia. Do wykonania mapy hydrograficznej zlewni wykorzystano dane hydrologiczne pozyskane z Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT) w skali 1:10 000, która powstała w latach 2012–2013. Kolejnym źródłem informacji była ortofotomapa udostępniona w ramach usługi WMS przez geoportal krajowy.

Wykorzystywane zostały również pozyskane metodą skaningu lidarowego zdjęcia lotnicze o numerach: N-33-130-D-b-1-1, N-33-130-D-b-1-2, N-33-130-D-b-1-3, N-33-130-D-b-1-4, N-33-130-D-b-2-1, N-33-130-D-b-2-3,

N-33-130-D-b-2-4, N-33-130-D-b-3-2, N-33-130-D-b-2-4, N-33-130-D-b-3-2, N-33-130-D-b-4-1 i N-33-130-D-b-4-2 oraz dane lidarowe o numerach arkuszy: N-33-130-D-b-1-1, N-33-130-D-b-1-2, N-33-130-D-b-1-3, N-33-130-D-b-1-4, N-33-130-D-b-2-1, N-33-130-D-b-2-3, N-33-130-D-b-2-4, N-33-130-D-b-3-2, N-33-130-D-b-2-4, N-33-130-D-b-3-2, N-33-130-D-b-4-1 i N-33-130-D-b-4-2. W oparciu o dane lidarowe stworzono DEM, który został wykorzystany do obliczenia parametrów morfometrycznych zlewni.

Podstawową metodą badawczą, obejmującą prace kameralne, była analiza i wektoryzacja map topograficznych i zdjęć lotniczych. Do opracowania danych wykorzystano programy komputerowe: Microsoft Excel, QGIS 2.18. – Las Palmas oraz ArcGIS 10.3. Prace kameralne były uszczegółowione poprzez rekonesans terenowy. Polegał on na rozpoznaniu przebiegu granicy zlewni w miejscach, gdzie nie było to możliwe na podstawie mapy topograficznej oraz zdjęć lotniczych, lub w miejscach, gdzie przebieg granicy zlewni był wątpliwy (fot. 1).



Fot. 1. Fragmenty zlewni Różanego Strumienia: a) nasyp kolejowy w południowej części zlewni, b) ciek (dopływ) położony w północnej części badanego obszaru, c) przepust pod nasypem kolejowym w południowej części zlewni, d) zbiornik wodny położony w środkowej części obszaru badań (J. Stefaniak, D. Dąbrowski; kwiecień–maj 2017)

Granica zlewni Różanego Strumienia

Podczas wektoryzacji cieków i obiektów gospodarki wodnej okazało się, że wykorzystywana do tej pory granica zlewni była wyznaczona na podstawie mało dokładnej mapy topograficznej w skali 1:50 000. Konieczne zatem stało się wy-

znaczenie „nowej”, dokładniejszej granicy zlewni Różanego Strumienia, uwzględniającej trwale elementy działalności człowieka z ostatnich lat. Granica została wyznaczona na podstawie arkuszy map topograficznych w skali 1:10 000 w wersji cyfrowej z roku 1998 o numerach: N-33-130-D-b-1 POZNAŃ-OSIEDLE JANA III SOBIESKIEGO, N-33-130-D-b-2 CZERWONAK, N-33-130-D-b-4 POZNAŃ-NARAMOWICE oraz diapozytywów pozyskanych z Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej. W miejscach, gdzie niemożliwe było wyznaczenie granicy zlewni na podstawie przebiegu poziomicy na mapach topograficznych i diapozytywach, przeprowadzony został rekonesans terenowy.

Przyczyny wyznaczenia „nowej” granicy zlewni Różanego Strumienia

Na poniższej rycinie przedstawiono kilka przykładów błędów pojawiających się na „starej” granicy zlewni Różanego Strumienia (ryc. 2).



Ryc. 2. Przykładowe błędy popełnione przy wyznaczaniu „starej” granicy zlewni Różanego Strumienia: a) granica zlewni przecina ciek, b) granica zlewni nie obejmuje ujścia Różanego Strumienia do Warty, c) granica zlewni przecina zbiornik wodny

Błędy pokazane na rycinie 2 są niezgodne z zasadami wyznaczania granic zlewni. W pierwszym przypadku (a) granica zlewni przecina ciek. Jest to nielogiczne, ponieważ oznaczałoby to, że część wody z cieku odpływa do jednej zlewni, a część do drugiej. Z hydrologicznego punktu widzenia jest to możliwe. Zjawisko to zwane jest bifurkacją. Woda z danego miejsca odpływa do różnych zlewni (Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski, 2006). Jednak w tym przypadku ukształtowanie terenu wyklucza taką sytuację. Drugie zdarzenie (b) przedstawia sytuację, w której granica zlewni nie obejmuje ujścia Różanego Strumienia do Warty. W trzecim przypadku (c) widzimy, że granica zlewni przecina zbiornik wodny. Byłoby to możliwe, gdyby z tego zbiornika wypływały dwa cieki do różnych zlewni, jednak w tym przypadku takie zjawisko nie występuje.

„Nowa” granica zlewni Różanego Strumienia

Na rycinie 3 przedstawiono dwie granice zlewni Różanego Strumienia, „starą” i „nową”.



Ryc. 3. „Stara” i „nowa” granica zlewni Różanego Strumienia na tle ortofotomapy (www.geoportal.gov.pl)

Na podstawie ryciny 3 zaobserwowano, że największe zmiany widoczne były w południowo-wschodniej części zlewni, gdzie usunięto jej znaczny fragment. Analiza ukształtowania terenu wykazała, że woda z tego obszaru spływa bezpośrednio do Warty, a nie do Różanego Strumienia. Większość zmian, które uwzględniono w „nowej” granicy zlewni, spowodowana była wyznaczeniem jej na podstawie map o większej dokładności (mapy topograficzne w skali 1:10 000, zamiast map w skali 1:50 000). W tabeli 1 zestawiono podstawowe parametry morfometryczne dla obu granic zlewni Różanego Strumienia.

Tabela 1. Porównanie podstawowych parametrów morfometrycznych zgodnie z przebiegiem „starej” i „nowej” granicy zlewni Różanego Strumienia

	Powierzchnia zlewni	Obwód zlewni	Wskaźnik wydłużenia zlewni
„Stara” granica zlewni Różanego Strumienia	7,990 km ²	16,635 km	0,68
„Nowa” granica zlewni Różanego Strumienia	7,731 km ²	17,378 km	0,42

Analizując dane z powyższej tabeli, stwierdzono, że pomimo zmniejszenia powierzchni zlewni, jej obwód zwiększył się. Głównym czynnikiem sprawczym jest w tym przypadku większa dokładność w wyznaczaniu granicy, przez co jest ona dłuższa o 0,743 km.

Mapa hydrograficzna zlewni Różanego Strumienia

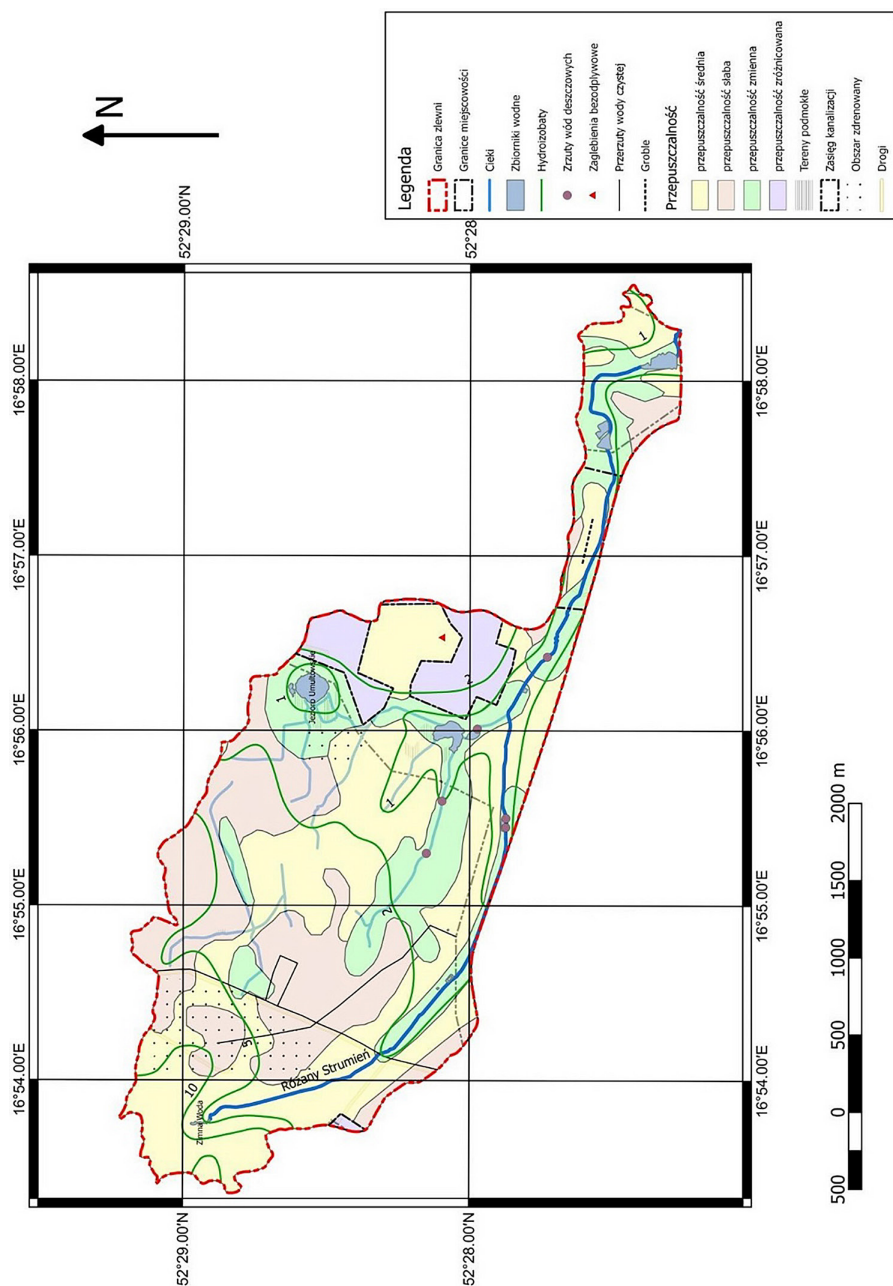
Definicja mapy hydrograficznej

Mapa hydrograficzna to rodzaj mapy tematycznej, która przedstawia w syntetycznym ujęciu warunki obiegu wody w powiązaniu ze środowiskiem przyrodniczym, jego zainwestowaniem i przekształceniem. Powstaje ona na podkładzie mapy topograficznej, na którą nanoszone są wyniki kartowania terenowego zjawisk i obiektów wodnych, przepuszczalności gruntów oraz liczne informacje związane z gospodarowaniem zasobami wodnymi, oceną jakości wody, a także danymi sieci monitoringu hydrosfery (Główny Urząd Geodezji i Kartografii, 2005).

Mapa hydrograficzna zlewni Różanego Strumienia

Zgodnie z powyższą definicją do wykonania mapy hydrograficznej zlewni Różanego Strumienia (ryc. 4) wykorzystano następujące źródła danych:

- granica zlewni Różanego Strumienia została wyznaczona na podstawie map topograficznych w skali 1:10 000 z roku 1998 oraz rekonesansu terenowego,
- rozmieszczenie wód powierzchniowych (sieć rzeczna, zbiorniki wodne, tereny podmokłe, kanały i rowy) zostało pozyskane z Bazy Danych Obiektów Topograficznych, ortofotomapy badanego obszaru oraz rekonesansu terenowego,
- wypływy wód powierzchniowych pozyskano z Bazy Danych Obiektów Topograficznych,
- informacje o głębokości zalegania zwierciadła wód podziemnych pozyskano z Bazy Danych Obiektów Topograficznych,
- dane dotyczące przepuszczalności gruntów otrzymano z Bazy Danych Obiektów Topograficznych,
- informacje o zjawiskach i obiektach gospodarki wodnej uzyskano z Bazy Danych Obiektów Topograficznych (wyjątkiem są miejsca przerzutu wód deszczowych, udostępnione przez M. Marciniaka).



Ryc. 4. Mapa hydrograficzna zlewni Rózanego Strumienia
 Źródło: opracowanie własne na podstawie danych pozyskanych z BDOT i ortofotomapy.

Analiza parametrów morfometrycznych zlewni Rózanego Strumienia

Charakterystyki fizycznogeograficzne zlewni pozwalają na wykazanie różnic i podobieństw, jakie istnieją między poszczególnymi zlewniami. Różne charakterystyki mogą ułatwić określenie stopnia podobieństwa w celu np. generalizacji opisu poszczególnych zjawisk hydrologicznych czy doboru zlewni analogicznej (Ozga-Zielińska, Brzeziński, 1994).

Zróźnicowanie przestrzenne i dynamika zjawisk hydrologicznych zależą od warunków fizjogeograficznych zlewni. Wyrażane są one przez cechy geometryczne, morfometryczne, geomorfologiczne, hydrograficzne, geologiczno-glebowe oraz sposób użytkowania powierzchni zlewni. Przykładowo kształt zlewni w dużej mierze wpływa na wielkość i przebieg wezbrań, czas koncentracji i charakter fali wezbraniowej. W wydłużonych zlewniach fale wezbraniowe są zwykle płaskie, samo wezbranie trwa dłużej, a jego kulminacja jest niższa niż w zlewni zwartej. Nachylenie obszaru zlewni wpływa na dynamikę i wielkości odpływu. Im większe nachylenie powierzchni zlewni, tym szybszy spływ powierzchniowy, mniej wody wsiąka i mniej paruje. Przepuszczalność gruntu warunkuje gęstość sieci rzecznej. Na obszarach zbudowanych z utworów dobrze przepuszczalnych gęstość ta jest mała, natomiast na obszarach zbudowanych z utworów nieprzepuszczalnych – duża. Charakterystyki opisujące warunki fizjograficzne zlewni wyraża się w postaci miar ilościowych, czyli parametrów, które można wyznaczyć na podstawie map topograficznych, tematycznych, zdjęć lotniczych, obserwacji i pomiarów terenowych (Pociask-Karteczka, 2006).

Ozga-Zielińska i Brzeziński (1994) wyróżnili kilka grup charakterystyk zlewni pod kątem opisywanych przez nie określonych własności zlewni:

- położenie przestrzenne zlewni,
- geometrię zlewni,
- morfometrię i rzeźbę powierzchni,
- sieć hydrograficzną,
- geomorfologiczne prawa sieci cieków,
- pokrycie i użytkowanie zlewni,
- cechy podłoża i struktury hydrogeologicznej.

W niniejszym artykule skoncentrowano się na parametrach dotyczących kształtu (6), rzeźby (5) i warunków hydrograficznych zlewni (3).

Na podstawie powyższych grup przeprowadzono analizę wybranych charakterystyk fizycznogeograficznych dla zlewni Rózanego Strumienia.

Pierwszym parametrem należącym do grupy charakterystyk określających **kształt** (geometrię) zlewni jest długość zlewni L . Wartość ta opisuje największą odległość w linii prostej między ujściem i najbardziej oddalonym od niego punktem granicy zlewni (Pociask-Karteczka, 2006). Długość L zlewni Rózanego Strumienia wynosi 6,477 km.

Jednym z najważniejszych parametrów opisujących geometrię zlewni jest jej obwód P . Obwód zlewni Rózanego Strumienia wynosi 17,378 km.

Kolejnym parametrem geometrycznym, jaki wyznaczono dla analizowanej zlewni, jest maksymalna długość zlewni L_m . Jest to długość doliny rzeki głównej od ujścia do punktu na dziale wodnym w przedłużeniu odcinka źródłowego (Pociask-Karteczka, 2006). Maksymalna długość L_m zlewni Różanego Strumienia wynosi 7,433 km.

Średnia szerokość zlewni B to kolejny wskaźnik geometryczny. Jest to stosunek powierzchni zlewni do jej maksymalnej długości. Oblicza się go na podstawie równania:

$$B = \frac{A}{L_m}$$

gdzie:

B – średnia szerokość zlewni [km^2],

A – powierzchnia zlewni [km^2],

L_m – maksymalna długość zlewni [km] (Pociask-Karteczka, 2006).

Przyjmując, że powierzchnia zlewni wynosi 7,731 km^2 , a maksymalna długość 7,433 km, obliczono średnią szerokość zlewni Różanego Strumienia. Wynosi ona 1,040 km.

Do bardziej skomplikowanych parametrów opisujących kształt zlewni należą wskaźnik wydłużenia zlewni C_w oraz wskaźnik kolistości zlewni C_k . Pierwszy z nich jest ilorazem średnicy koła o polu równym polu powierzchni zlewni do maksymalnej długości zlewni. Oblicza się go z poniższego równania:

$$C_w = \frac{2}{L_m} \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

gdzie:

C_w – wskaźnik wydłużenia zlewni,

L_m – maksymalna długość zlewni [km],

A – powierzchnia zlewni [km^2] (Pociask-Karteczka, 2006).

Przyjmując, że powierzchnia zlewni Różanego Strumienia wynosi 7,731 km^2 , a maksymalna jej długość 7,433 km, obliczono wskaźnik wydłużenia zlewni. Wyniósł on 0,42.

Wskaźnik kolistości zlewni C_k to stosunek pola powierzchni zlewni do pola koła o takim samym obwodzie co obwód zlewni. Do obliczenia wskaźnika kolistości zlewni wykorzystano poniższe równanie:

$$C_k = \frac{A}{A_k} = 4\pi \frac{A}{P^2}$$

gdzie:

C_k – wskaźnik kolistości zlewni,

A – powierzchnia zlewni [km^2],

A_k – powierzchnia koła o tym samym obwodzie, co obwód zlewni [km^2],

P – obwód zlewni [km] (Pociask-Karteczka 2006).

Przyjmując, że powierzchnia zlewni Rózanego Strumienia wynosi 7,731 km², a jej obwód 17,378 km, tym razem obliczono wskaźnik kolistości (C_k), który wyniósł 0,32.

Kolejną grupą parametrów są charakterystyki dotyczące **rzeźby** badanego obszaru. Pierwszym z nich jest wysokość maksymalna zlewni $H_{\max}$. Wynosi ona 153,8 m n.p.m. Najwyższym punktem w zlewni jest Góra Moraska położona w jej północno-zachodniej części.

Wysokość minimalna $H_{\min}$ wynosi 49,0 m n.p.m. Punkt ten zlokalizowany został w południowo-wschodniej części zlewni, w okolicach ujścia Rózanego Strumienia do Warty.

Parametrem, który można obliczyć na podstawie wysokości maksymalnej i minimalnej, jest deniwelacja terenu ΔH . Wynosi ona 104,8 m. Wartość ta jest różnicą między wysokością maksymalną i minimalną w zlewni. Do jej obliczenia służyło proste równanie:

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\min}$$

gdzie:

ΔH – deniwelacja terenu [m],

$H_{\max}$ – wysokość maksymalna zlewni [m n.p.m.],

$H_{\min}$ – wysokość minimalna zlewni [m n.p.m.] (Pociask-Karteczka, 2006).

Wskaźnikiem opisującym rzeźbę obszaru badań jest średnia wysokość zlewni H_{sr} . Można ją obliczyć za pomocą dwóch wzorów. Pierwszy z nich jest znacznie uproszczony:

$$H_{\text{sr}} = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2}$$

gdzie:

H_{sr} – średnia wysokość zlewni [m n.p.m.],

$H_{\max}$ – wysokość maksymalna zlewni [m n.p.m.],

$H_{\min}$ – wysokość minimalna zlewni [m n.p.m.] (Pociask-Karteczka, 2006).

Na podstawie powyższego wzoru średnia wysokość zlewni Rózanego Strumienia wynosi 101,4 m n.p.m.

Drugim sposobem na obliczenie średniej wysokości zlewni jest wykorzystanie wzoru Reitza z 1945 roku (Pociask-Karteczka, 2006). Pozwala on na uzyskanie dokładniejszego wyniku niż z poprzedniego wzoru, ponieważ nie zakłada, że średnia wysokość zlewni to tylko wartość pomiędzy wysokością minimalną i maksymalną:

$$H_{\text{sr}} = 0,434 \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\log H_{\max} - \log H_{\min}}$$

gdzie:

H_{sr} – średnia wysokość zlewni [m n.p.m.],

$H_{\max}$ – wysokość maksymalna zlewni [m n.p.m.],

$H_{\min}$ – wysokość minimalna zlewni [m n.p.m.] (Pociask-Karteczka, 2006).

Na podstawie wzoru Reitza obliczono średnią wysokość zlewni Różanego Strumienia, która wyniosła 91,51 m n.p.m.

Ostatnim parametrem opisującym rzeźbę zlewni jest jej średnie nachylenie. Jednym ze sposobów na obliczenie tej charakterystyki było wykorzystanie wzoru na wskaźnik rzeźby Strahlera – C_f . Jest to iloraz deniwelacji i maksymalnej długości zlewni. Oblicza się go za pomocą poniższego równania:

$$C_f = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L_m}$$

gdzie:

C_f – wskaźnik rzeźby zlewni Strahlera [$\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$],

$H_{\max}$ – wysokość maksymalna zlewni [m n.p.m.],

$H_{\min}$ – wysokość minimalna zlewni [m n.p.m.],

L_m – maksymalna długość zlewni [km] (Pociask-Karteczka, 2006).

Średnie nachylenie zlewni Różanego Strumienia obliczone na podstawie wskaźnika rzeźby Strahlera osiągnęło wartość $14,09 \text{ m} \cdot \text{km}^{-1}$. Oznacza to, że na każdy kilometr Różanego Strumienia wraz z jego przedłużeniem od źródła do najbliższego punktu na dziale wodnym teren obniża się o 14,09 m.

Kolejną grupą parametrów fizjograficznych zlewni są te, które opisują jej **warunki hydrograficzne**. Najważniejsze z punktu widzenia dalszych analiz było obliczenie długości głównego cieku w zlewni – Różanego Strumienia. Długość tego cieku została wyznaczona za pomocą programu QGIS po wcześniejszej wektoryzacji na podstawie ortofotomapy. Wyniosła ona 6,939 km.

Na podstawie długości cieku oraz narzędzi GIS w łatwy sposób można było obliczyć kolejny parametr, jakim był wskaźnik rozwinięcia rzeki r . Opisuje on stosunek długości rzeki do długości linii prostej łączącej źródło z ujściem. Oblicza się go za pomocą poniższego wzoru:

$$r = \frac{l}{p} \cdot 100$$

gdzie:

r – rozwinięcie rzeki [%],

l – długość rzeki [km],

p – długość linii prostej łączącej źródło z ujściem [km] (Pociask-Karteczka, 2006).

Na podstawie powyższego równania obliczono wskaźnik rozwinięcia rzeki r dla Różanego Strumienia. Wyniósł on 116,6%.

Na podstawie danych dotyczących wysokości n.p.m. źródła i ujścia (pozyskanych z Numerycznego Modelu Terenu) oraz długości cieku, obliczono spadek wyrównany rzeki i_w , czyli stosunek różnicy wysokości źródła i ujścia do długości rzeki. Wskaźnik ten obliczono za pomocą poniższego wzoru:

$$i_w = \frac{H_z - H_u}{l}$$

gdzie:

i_w – spadek wyrównany rzeki [‰],

H_z – wysokość źródła [m n.p.m.],

H_u – wysokość ujścia [m n.p.m.],

l – długość rzeki [km] (Pociask-Karteczka, 2006).

Przyjmując, że źródło Różanego Strumienia znajduje się na wysokości 119 m n.p.m., a ujście do Warty na wysokości 49 m n.p.m. oraz uwzględniając długość cieku, która wynosi 6,94 km, obliczono spadek wyrównany rzeki. Wyniósł on 10,08‰.

Podsumowanie i wnioski

Wykonanie aktualnej mapy hydrograficznej poprzedziła weryfikacja dotychczasowej granicy zlewni Różanego Strumienia. W celu utworzenia nowej mapy niezbędne okazały się dane z Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT), mapy topograficzne, dane cyfrowe, a także mapa hydrograficzna Poznania.

Na podstawie wykonanej mapy obliczono szereg parametrów morfometrycznych zlewni oraz samego Różanego Strumienia. Przy użyciu technologii geoinformacyjnych obliczono charakterystyki geometryczne zlewni, takie jak: długość zlewni (6,477 km); jej obwód (17,378 km); maksymalna długość zlewni (7,433 km); średnia szerokość zlewni (1,040 km); wskaźnik wydłużenia (0,42) i kolistości (0,32). Na podstawie Cyfrowego Modelu Wysokości obliczono parametry związane z rzeźbą terenu, do których zaliczono: wysokość maksymalną (153,8 m n.p.m.) i minimalną (49,0 m n.p.m.); deniwelację terenu (104,8 m); średnią wysokość zlewni (91,51 m n.p.m.) oraz średnie nachylenie (14,09 m·km⁻¹). Obliczone zostały także parametry dotyczące Różanego Strumienia: długość cieku (6,939 km); wskaźnik rozwinięcia rzeki (116,6%) i spadek wyrównany rzeki (10,08 ‰).

Mapa hydrograficzna zlewni oraz obliczone powyżej parametry morfometryczne stanowią cenne źródło informacji oraz mogą mieć znaczenie aplikacyjne.

Literatura

- Bajkewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 2006, *Hydrologia ogólna*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Choiński A., 2007, *Limnologia fizyczna Polski*, Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- Chmał R., 1990, *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000*, arkusz Poznań, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Galon R., 1972, *Geomorfologia Polski*, t. 2, *Niż Polski*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Jokiel P., 2017, *Hydrologia Polski – uwarunkowania i problemy*, [w:] P. Jokiel, W. Marszałkowski, J. Pociask-Karteczka (red.), *Hydrologia Polski*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, s. 1–5.
- Kostrzewski A., Majewski M., Szpikowski J., 2021, *Założenia metodologiczne i metodyczne Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego*, [w:] A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), *Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego*. Organiza-

- cja, system pomiarowy, metody badań. Wytyczne do realizacji, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, s. 21–37.
- Krygowski B., 1961, Geografia fizyczna Niziny Wielkopolskiej, cz. 1, Geomorfologia, PTPN, Wyd. Matem-Przyrod. Kom. Fizjogr., Warszawa.
- Major M., Chudzińska M., Majewski M., 2022, Obieg materii rozpuszczonej w zlewni Różanego Strumienia w Poznaniu w roku hydrologicznym 2021, [w:] A. Kostrzewski, J. Szpikowski, M. Majewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Współczesne przemiany naturalne i antropogeniczne środowiska przyrodniczego zlewni rzecznych i jeziornych, 32. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Storkowo, s. 148–162.
- Major M., Chudzińska M., Majewski M., 2022, Wielkość dostawy wybranych zanieczyszczeń atmosferycznych i ich wpływ na jakość wód w zurbanizowanej zlewni Różanego Strumienia w Poznaniu w latach hydrologicznych 2016–2020. Przegląd Geograficzny, 94, 4: 415–436. <https://doi.org/10.7163/PrzG.2022.4.1>
- Major M., Chudzińska M., Majewski M., Staszak-Piekarska A., 2016, Stacja Bazowa Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Różany Strumień (2013), [w:] A. Kostrzewski (red.), Stacje Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wyd. Nauk. UAM, Poznań, s. 153–180.
- Major M., Kolendowicz L., Marciniak M., Chudzińska M., Kruszyk R., Majewski M., Okońska M., Półrolniczak M., Stefaniak M., Fabjańska W., 2024, Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Poznań-Morasko w 2023 roku. Sprawozdanie z realizacji II etapu umowy nr GIOŚ/ZP/139/2023/DMS/NFOŚiGW pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP) – nadzór merytoryczny oraz przeprowadzenie badań w latach 2023–2025”, Poznań, mscr.
- Major M., Majewski M., Olejarczyk M., Zięba M., 2017, Stan i funkcjonowanie geoekosystemu zlewni Różanego Strumienia w Poznaniu w roku hydrologicznym 2016. Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 19(1): 31–39.
- Moczko A., 2012, Prognoza oddziaływania na środowisko dotycząca projektu miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego „Morasko–Radojewo–Umultowo” – Rezerwat Meteoryt Morasko w Poznaniu, Miejska Pracownia Urbanistyczna, Poznań.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1994, Hydrologia stosowana, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Pociask-Karteczka J. (red.), 2006, Zlewnia. Właściwości i procesy, Wyd. UJ, Kraków.
- Rosa B., Kozarski S., 1980, Przeglądowa mapa geomorfologiczna Polski 1:500 000, arkusz Poznań, Instytut Geografii PAN, Warszawa.
- Richling A., Solon J., Macias A., Balon J., Borzyszkowski J., Kistowski M. (red.), 2021, Regionalna geografia fizyczna Polski, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.

Abstract: The purpose of this paper was to characterize hydrographic network and elaborate layers of surface waters of Różany Strumień catchment using Geographic Information Systems (GIS). The implementation of current hydrographic map was preceded by the verification of the previous catchment border. It was done by using cartographic materials and conducting a field inventory. To create hydrographic map, it was necessary to use the data from Topographic Data Base, topographic maps, digital data and hydrographic map of Poznań. Using a map were calculated parameters, such as: total area of lakes, total drained

and canalised area, percentage coverage of particular classes of permeability in the catchment. In this paper were also presented morphometric parameters of Różany Strumień catchment such as: perimeter, area, length, average catchment width, elongation and circularity rates, area denivelation, average catchment height and Strahler's index of form. On the basis of conducted geoinformation analyses, parameters related to Różany Strumień were calculated such as: river branching index and River fall.

Key words: Rozany Strumien catchment, surface waters, hydrographic map, hydrological parameters, Geographic Information System

¹Sekcja Monitoringu Środowiska Przyrodniczego,
Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego
² Stacja Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego
Poznań-Morasko
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Konstancja Cichocka¹, Anna Stasiewicz¹, Magdalena Skowron¹,
Adrian Nolka¹, Natalia Jurkiewicz¹, Kinga Bojkowska¹, Jerzy
Borowicz¹, Sara Koniec¹, Maciej Major², Maria Chudzińska²

Krótkookresowe wahania właściwości fizykochemicznych wód Różanego Strumienia

Zarys treści: Różany Strumień jest ciekim płynącym na obszarze aglomeracji poznańskiej i podlega intensywnej presji antropogenicznej. Celem badań było określenie krótkookresowych zmian właściwości fizykochemicznych wód Różanego Strumienia w przedziale 48 godzin. Badania przeprowadzono w terminie od 17 do 19 maja 2024 roku i obejmowały zarówno pomiary terenowe, jak i analizy laboratoryjne. Ich wyniki pozwoliły na ocenę, czy w tak krótkim okresie można zaobserwować istotne fluktuacje, świadczące o wpływie czynników zewnętrznych na funkcjonowanie geoekosystemu analizowanej zlewni. Pomiary wykazały stabilność parametrów fizykochemicznych wód powierzchniowych, co może wskazywać na niewielki wpływ warunków meteorologicznych i hydrologicznych w badanym okresie na skład chemiczny wód Różanego Strumienia, przede wszystkim ze względu na niewielką sumę opadów atmosferycznych.

Słowa kluczowe: Różany Strumień, właściwości fizykochemiczne, jakość wód, presja antropogeniczna

1. Wprowadzenie

Badania fizykochemiczne wód powierzchniowych i podziemnych odgrywają kluczową rolę w monitorowaniu zmian środowiskowych, szczególnie w geoekosystemach miejskich poddawanych silnej presji antropogenicznej (Major i in., 2022). Jednym z takich obszarów jest zlewnia Różanego Strumienia, położona w północ-

nej części Poznania, która charakteryzuje się sezonową zmiennością warunków hydrologicznych i hydrochemicznych (Major i in., 2024).

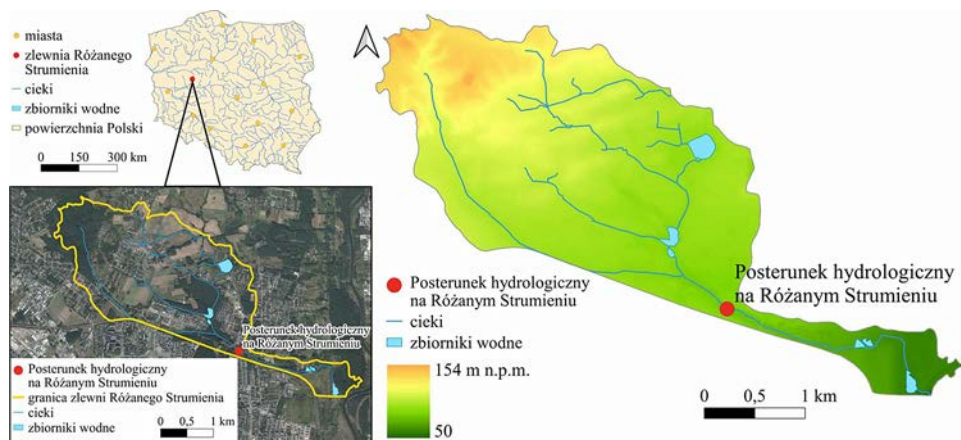
Jej hydrologiczne i hydrochemiczne właściwości są kształtowane zarówno przez procesy naturalne, jak i działalność człowieka, co czyni ją istotnym miejscem badań nad krótkookresowymi zmianami parametrów fizykochemicznych wód (Zwoliński i in., 2017).

Celem badań była analiza krótkookresowych wahań właściwości fizykochemicznych wód Różanego Strumienia. Badania umożliwiły udzielenie odpowiedzi na pytanie: czy w krótkim okresie pomiarowym wystąpiła istotna zmienność składu chemicznego wód, wpływająca na funkcjonowanie geoekosystemu zlewni?

2. Obszar badań

Zlewnia Różanego Strumienia stanowi przedmiot badań Stacji Bazowej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego Poznań-Morasko. Położona jest w północnej części Poznania i zajmuje powierzchnię około 7,7 km² (Major i in., 2016). Zgodnie z podziałem fizycznogeograficznym Richlinga i in. (2021), zlewnia Różanego Strumienia znajduje się w obrębie dwóch mezoregionów: Pojezierza Poznańskiego (315.51) i Poznańskiego Przełomu Warty (315.52). Mezoregiony te wchodziły w skład makroregionu Pojezierza Wielkopolskiego (315.5) (ryc. 1).

Zlewnia Różanego Strumienia cechuje się znacznym zróżnicowaniem litologicznym, będącym efektem działalności lądolodu plejstoceniowego. Wśród utworów powierzchniowych dominują gliny zwałowe, piaski oraz żwiry, które zajmują największą powierzchnię badanego obszaru (Chmał, 1990). Z kolei wśród gleb przeważają gleby brunatne i rdzawe. Na obszarach porośniętych lasami zalegają gleby brunatne wylugowane, a w okolicy Góry Moraskiej znajdują się gleby rdzawe i rdzawe brunatne. W obniżeniach terenu występują także utwory bagienne – torfy i mursze (Moczko, 2012).



Ryc. 1. Lokalizacja zlewni Różanego Strumienia

Źródło: opracowanie własne na podstawie www.geoportal.gov.pl (BDOT10k).

Głównym ciekim w zlewni jest Różany Strumień (ryc. 1) o długości 6,9 km będący lewobrzeżnym dopływem Warty (Major i in., 2022). Źródło strumienia znajduje się w mokradle zlokalizowanym na południowy wschód od Góry Moraskiej. W granicach zlewni występują również inne cieki o charakterze okresowym. Największym dopływem Różanego Strumienia jest Potok Umultowski (Bereszyński, Homan, 2007).

Środowisko przyrodnicze zlewni Różanego Strumienia znajduje się pod silną presją antropogeniczną. W strukturze użytkowania ziemi dominują użytki zielone, których udział wynosi około 30,3%. Duże znaczenie mają również lasy oraz grunty orne, zajmujące odpowiednio 22,2% i 20,3%. Tereny zabudowane, zlokalizowane przede wszystkim w centralnej części zlewni, obejmują około 17,4% analizowanego obszaru (Major i in., 2022). Głównym zagrożeniem dla wód powierzchniowych i podziemnych są zanieczyszczenia spowodowane nieuporządkowaną gospodarką wodno-ściekową (Major i in., 2024).

3. Dane i metody badań

Skład chemiczny wód Różanego Strumienia określono na podstawie pomiarów przeprowadzonych w interwałach 1-godzinnych w przedziale 48 godzin, co pozwoliło na szczegółową analizę krótkoterminowych fluktuacji parametrów fizykochemicznych. Badania realizowano od godziny 19:00 17 maja 2024 roku do godziny 19:00 19 maja 2024 roku. Wodę pobierano z cieku przy posterunku wodowskazowym Stacji ZMŚP Poznań-Morasko (fot. 1, 2). W sumie pobrano 49 próbek. Zakres badań terenowych obejmował pobór próbek wody z Różanego Strumienia do butelek o pojemności 500 ml, pomiar temperatury [°C] oraz odczynu pH i przewodności elektrolitycznej właściwej (SEC) [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$].

Pomiary pH wód Różanego Strumienia przeprowadzono metodą potencjometryczną, a przewodności elektrolitycznej metodą konduktometryczną. Wyżej wymienione parametry zmierzono w terenie wraz z temperaturą bezpośrednio po pobraniu próbek. Do czasu wykonania analiz chemicznych próbki przechowywano w lodówce w temperaturze 4°C.

Badania składu chemicznego wód powierzchniowych wykonano w Laboratorium Geoekologicznym Stacji ZMŚP Poznań-Morasko na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych UAM oraz w Laboratorium Hydrochemicznym Stacji Geoekologicznej UAM w Storkowie. W laboratorium oznaczono stężenia pięciu anionów: jonów wodorowęglanowych (HCO_3^-), chlorków (Cl^-), siarczanów (SO_4^{2-}), azotanów (NO_3^-) i fosforanów (PO_4^{3-}) oraz pięciu kationów: wapnia (Ca^{2+}), magnezu (Mg^{2+}), sodu (Na^+), potasu (K^+) i jonów amonowych (NH_4^+).

Stężenia jonów HCO_3^- i Ca^{2+} oznaczono metodą miareczkową, a stężenia jonów NH_4^+ i PO_4^{3-} określono metodą spektrofotometryczną (Nanocolor UV/VIS II Macherey-Nagel). Kationy: Na^+ , K^+ i Mg^{2+} oznaczono metodą spektrometrii absorpcji i emisji atomowej (AAS/AES, SpectraAA-20 plus firmy Varian). Z kolei stężenia anionów: SO_4^{2-} , NO_3^- i Cl^- określono metodą chromatografii jonowej (DX-120 firmy Dionex).



Fot. 1. Miejsce poboru próbek wody do analiz fizykochemicznych na Różanym Strumieniu (fot. M. Skowron, 18.03.2025)



Fot. 2. Pobór próbek wody z Różanego Strumienia (fot. A. Nolka, 17.05.2024)

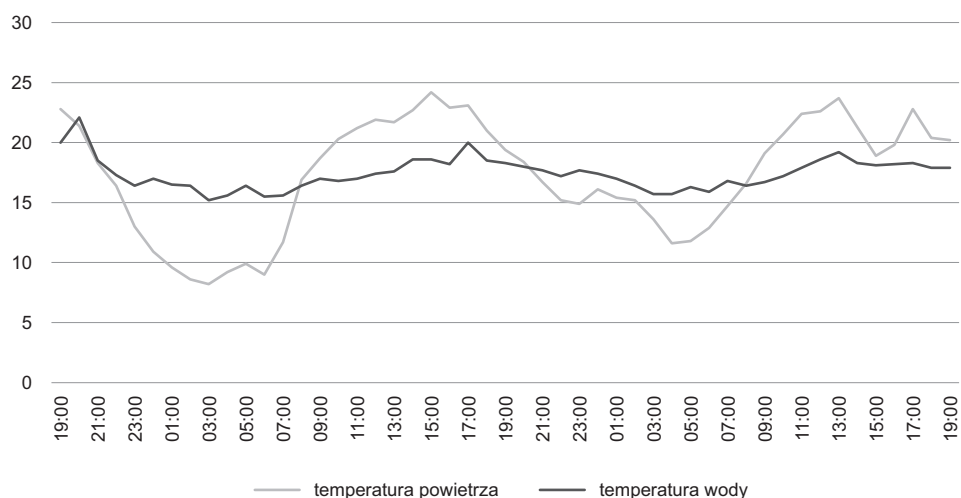
4. Wyniki badań

4.1. Warunki hydrometeorologiczne

Analiza krótkookresowych wahań właściwości fizykochemicznych wód Różanego Strumienia wykazała niewielką zmienność czasową parametrów fizykochemicznych wód w przedziale 48 godzin od 17 do 19 maja 2024 roku.

Podczas dwudniowych pomiarów temperatury wody najwyższą wartość tego parametru odnotowano 17 maja o godzinie 20:00, która wyniosła 22,1°C, a najniższą temperaturę wody zarejestrowano 17 maja o godzinie 3:00, która w tym terminie wyniosła 15,2°C (ryc. 2). Z kolei 17 maja średnia dobową temperatura powietrza osiągnęła najwyższą wartość w badanym okresie i wyniosła 18,8°C, 18 maja zmalała do 16,6°C, a 19 maja wzrosła do 17,8°C.

Zmiany temperatury powietrza mają bezpośredni wpływ na wahania temperatury wody. Krzywe przedstawione na rycinie 2 wykazują podobne wahania, przy czym sinusoidy ukazujące temperaturę wody są bardziej wypłaszczone w stosunku do krzywych obrazujących temperaturę powietrza. Współczynnik korelacji wykazał zależność między średnimi dobowymi temperaturami powietrza wraz z temperaturą wody i wyniósł 0,763. Podobne wyniki w dorzeczu Parsęty uzyskał Major (2012). Gwałtowny wzrost wartości temperatury powietrza i temperatury wody zauważalny był 18 maja. W tym terminie o godzinie 15:00 temperatura powietrza osiągnęła maksymalną wartość dobową, podczas gdy najwyższą dobową wartość temperatury wody zaobserwowano dokładnie 2 godziny później (ryc. 2).



Ryc. 2. Zmienność czasowa temperatury powietrza i temperatury wody w zlewni Różanego Strumienia w terminie 17–19 maja 2024 roku

Źródło: opracowanie własne na podstawie pomiarów i danych ze Stacji Bazowej ZMŚP Poznań-Morasko.

W trakcie badań przepływ wody Różanego Strumienia był stały i wynosił zarówno 17, jak i 19 maja $5,155 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Z kolei 18 maja przepływ był nieco niższy i wyniósł $4,338 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Niewielka suma opadów atmosferycznych w okresie badań (0 mm w pierwszych dwóch dniach; 0,8 mm trzeciego dnia) przyczyniła się do nieznacznej zmienności czasowej parametrów fizykochemicznych wód Różanego Strumienia. Niewielka dostawa wód opadowych nie spowodowała istotnych zmian wielkości stężeń badanych jonów.

4.2. Zmienność parametrów fizykochemicznych

Wody Różanego Strumienia charakteryzowały się lekko zasadowym odczynem (średnia pH – 7,86). Wartości odczynu badanego cieku mieściły się w zakresie od 7,79 do 7,98. Wyniki pomiarów przewodności elektrolitycznej właściwej (SEC) w próbkach pozwoliły zaliczyć te wody do wysoko zmineralizowanych. Średnia wartość przewodności wyniosła $92,6 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$, przy niewielkiej zmienności ($\text{SD} \pm 4,3 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$), a zakres wartości wahał się od $91,2 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$ do $94,0 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$.

Podczas analiz brano pod uwagę zmienność czterech anionów: chlorków (Cl^-), azotanów (NO_3^-), siarczanów (SO_4^{2-}) i jonów wodorowęglanowych (HCO_3^-) (ryc. 3). Fosforanów nie uwzględniano z powodu ich niskich stężeń, które kształtowały się poniżej granicy oznaczalności ($0,1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$).

Analizy laboratoryjne wykazały, że średnie stężenie chlorków w badanym okresie wyniosło $84,51 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Najwyższe stężenie wystąpiło 18 maja o godzinie 15:00, które wyniosło $93,01 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, a najniższe – $75,33 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ – tego samego dnia o godzinie 10:00.

Średnia wartość stężenia azotanów wyniosła $7,12 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, w przedziale od $4,57 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ o godzinie 7:00 ostatniego dnia poboru do $12,53 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ o godzinie 9:00 tego samego dnia.

Stężenia siarczanów kształtowały się od wartości minimalnej $97,74 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ 19 maja o godzinie 7:00 do maksymalnej $103,03 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ o godzinie 3:00 drugiego dnia poboru. Średnie stężenie SO_4^{2-} wyniosło $96,56 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Z kolei średnie stężenie jonów wodorowęglanowych wyniosło $408,39 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ przy najniższej wartości $392,8 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ o godzinie 4:00 ostatniego dnia poboru. Natomiast najwyższa wartość stężenia HCO_3^- osiągnęła $425,8 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ tego samego dnia o 7:00.

Badania wód Różanego Strumienia dotyczyły również zmienności czasowej pięciu kationów, czyli wapnia (Ca^{2+}), magnezu (Mg^{2+}), sodu (Na^+), potasu (K^+) i jonów amonowych (NH_4^+) (ryc. 4).

Analizy wykazały, że średnie stężenie wapnia w badanym okresie wyniosło $267,76 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i kształtowało się od wartości minimalnej wynoszącej $257,6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ stwierdzonej drugiego dnia poboru o godzinie 4:00 do wartości maksymalnej $278,4 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ odnotowanej pierwszego dnia o godzinie 19:00.

Jony amonowe charakteryzowały się średnim stężeniem na poziomie $0,30 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ oraz najniższym wynoszącym $0,16 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ zanotowanym 18 maja

o godzinie 15:00. Najwyższa wartość tego jonu wyniosła $0,53 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i odnotowano ją tego samego dnia o godzinie 13:00.

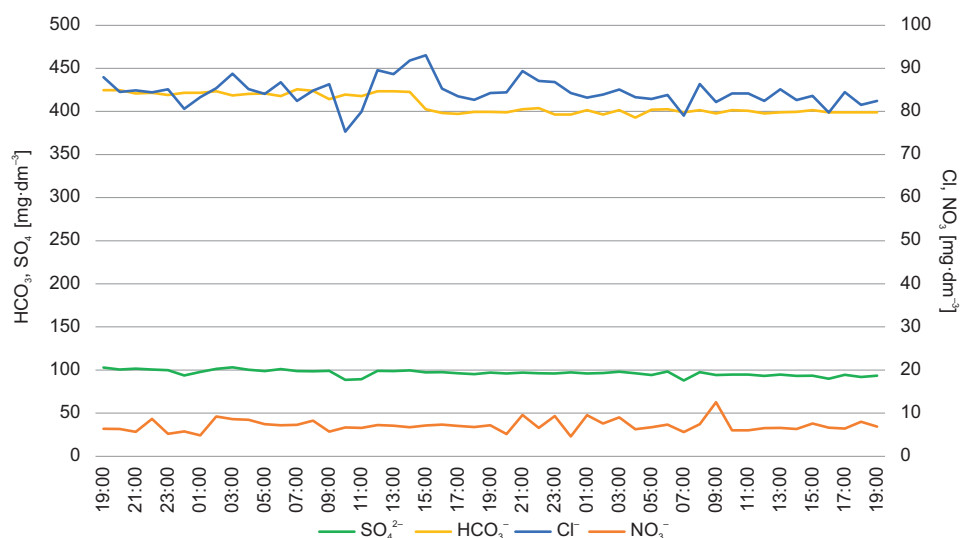
Wartości sodu wahały się w przedziale od $39,6 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ 18 maja o godzinie 10:00 do $45,2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ zarejestrowanej pierwszego dnia badań o godzinie 21:00. Średnia dla sodu z 48 godzin pomiarów wyniosła $43,19 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, natomiast dla potasu $5,72 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

Potas charakteryzował się minimalnym stężeniem wynoszącym $4,4 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, które zapisano drugiego dnia badań o godzinie 10:00. Z kolei najwyższą wartość, która wyniosła $9,2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ odnotowano pomiędzy godziną 14:00 i 15:00 17 maja.

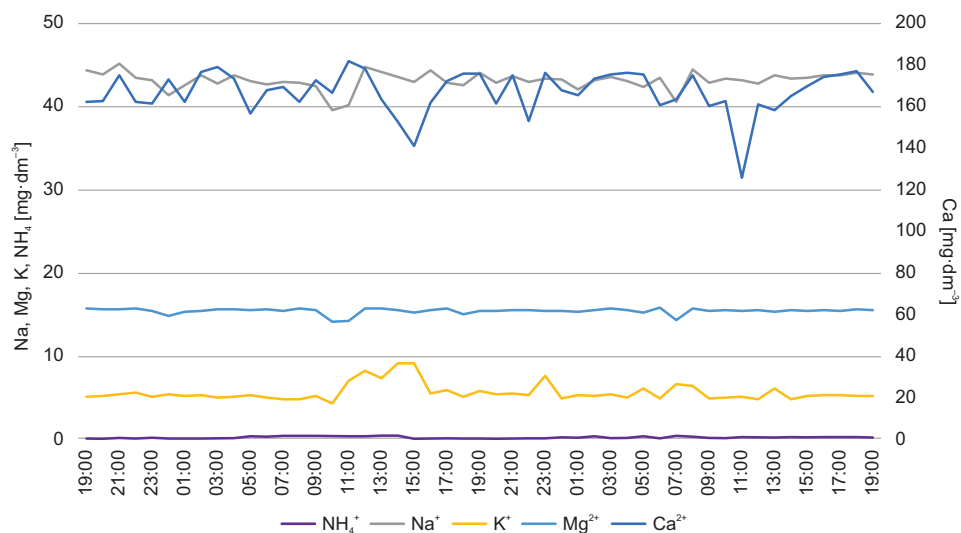
Oznaczenia magnezu wykazały najwyższe stężenie wynoszące $15,9 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w ostatnim dniu poboru o godzinie 6:00, a najniższe $14,2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ drugiego dnia badań o godzinie 10:00. Średnie stężenie magnezu z całego okresu badań wyniosło $15,5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Analizy wyników wszystkich parametrów fizykochemicznych wód Różanego Strumienia nie wykazały znaczących zmian czasowych w przedziale 48 godzin.

Analiza stężeń siarczanów, sodu oraz chlorków (przy niższym poziomie stężeń) wskazuje na bardzo podobną zmienność czasową. Niemal identyczne piki na wykresie zaobserwowano w dwóch terminach. Największą zależność wykazały stężenia siarczanów i chlorków, których wartość współczynnika korelacji była najwyższa i wyniosła 0,694. Znaczący spadek wartości tych jonów zaobserwowano drugiego dnia poboru próbek o godzinie 10:00 oraz ponownie ostatniego dnia pomiarów około godziny 8:00 (ryc. 5).

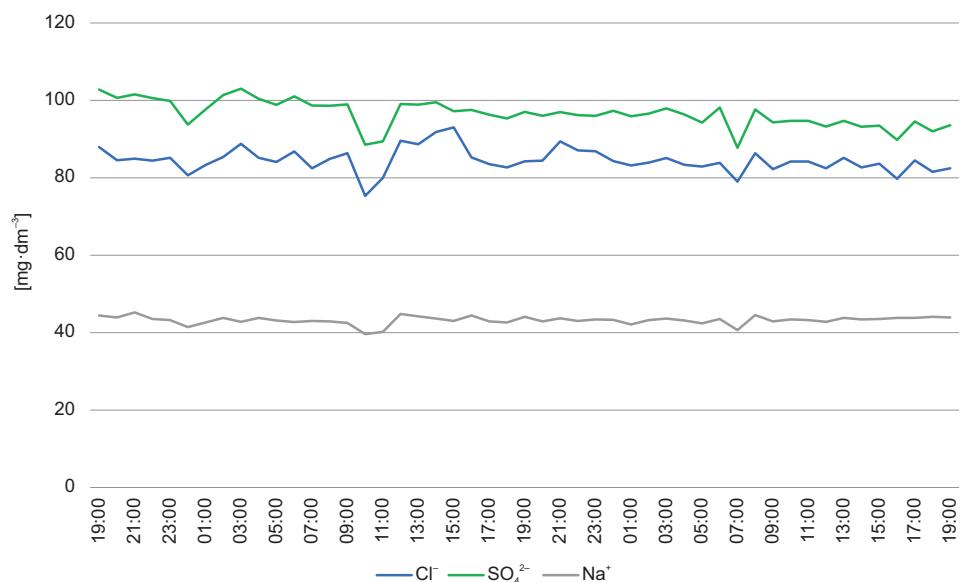
Na podstawie danych z literatury można zaobserwować zmiany składu chemicznego wód Różanego Strumienia. Zmiany te dotyczyły głównie wzrostu



Ryc. 3. Zmienność czasowa stężeń anionów w wodach Różanego Strumienia w terminie 17–19 maja 2024 roku



Ryc. 4. Zmienność czasowa stężeń kationów w wodach Rózanego Strumienia w terminie 17–19 maja 2024 roku



Ryc. 5. Zmienność czasowa stężeń wybranych parametrów w wodach Rózanego Strumienia w terminie 17–19 maja 2024 roku

stężeń chlorków z wartości od około $40 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w latach 2006–2012 (Okońska, Pietrewicz, 2017) do około $80 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w 2024 roku. Ponadto badania wykazały niewielki spadek stężeń siarczanów z wartości $116,9 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w latach 2006–2012 (Okońska, Pietrewicz, 2017) do $87,7 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w 2024 roku.

Na podstawie rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 roku w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. 2021 poz. 1475) określono potencjał ekologiczny Różanego Strumienia, a badany ciek został sklasyfikowany jako potok nizinny piaszczysty. Zgodnie z wytycznymi wyniki stężeń fosforanów (PO_4^{3-}) i azotanów (NO_3^-) pozwoliły zaliczyć wody Różanego Strumienia do I klasy jakości pod względem warunków biogennych. Stężenia jonów amonowych (NH_4^+) kształtowały się na poziomie II klasy, a wartości przewodności elektrolitycznej właściwiej oraz stężeń siarczanów (SO_4^{2-}), chlorków (Cl^-) i wapnia (Ca^{2+}) przekroczyły wartości graniczne dla II klasy jakości wód. Klasyfikuje to wody Różanego Strumienia do wód powierzchniowych poniżej stanu dobrego, oznaczającego umiarkowany poziom zakłóceń wynikających z działalności człowieka.

Według klasyfikacji Altowskiego i Szwieca (Macioszczyk, 1987) wody Różanego Strumienia należały w 2023 roku (Major i in., 2024), podobnie jak w badaniach realizowanych od 2016 roku hydrologicznego (Major i in., 2017), do typu hydrogeochemicznego wapniowo-wodorowęglanowo-chlorkowego. W porównaniu do wcześniejszych badań prowadzonych w latach 1988–2012 (Okońska, Pietrewicz, 2017) zaobserwowano zmiany typu hydrogeochemicznego z wapniowo-wodorowęglanowo-siarczanowo-chlorkowego na wyżej wymieniony.

5. Podsumowanie

Badania fizykochemiczne wód Różanego Strumienia nie wykazały istotnej zmienności czasowej analizowanych parametrów w trakcie 48-godzinnej okresu obserwacji. Stabilność wyników może wynikać z kilku czynników, wśród których kluczową rolę odegrały niezmiennie warunki atmosferyczne. Brak opadów w trakcie pierwszych dwóch dni badań nie wpłynął na zmiany dynamiki geoekosystemu rzeczno, co mogło zminimalizować zmienność parametrów składu chemicznego wody. W miejscu poboru próbek nie zaobserwowano bezpośredniej ingerencji człowieka, takiej jak odprowadzanie ścieków czy zrzuty odpadów, a takie czynności mogą dodatkowo przyczyniać się do większej zmienności parametrów fizykochemicznych wody. Wyniki wskazują na krótkoterminową stabilność geoekosystemu wód Różanego Strumienia.

Dodatkowo, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 roku w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. 2021 poz. 1475), jakość wód Różanego Strumienia określono jako poniżej dobrej. Ocena ta wynika z przeprowadzonych analiz fizykochemicznych, które wskazały na nieznaczne przekroczenia norm przewodności elektrolitycznej właściwiej, stężeń siarczanów (SO_4^{2-}), chlorków (Cl^-) i wapnia (Ca^{2+}) dla cieków nizinnych typu PN (potok lub strumień nizinny).

Literatura

- Bereszyński A., Homan E., 2007, Występowanie bobra europejskiego (*Castor fiber* Linnaeus, 1758) w Poznaniu, *Nauka Przyroda Technologie*, 1, 2. Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Poznaniu.
- Chmał R., 1990, Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Poznań, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Macioszczyk A., 1987, Hydrogeochemia, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Major M., 2012, Funkcjonowanie zagłębień bezodpływowych w zróżnicowanych warunkach morfolitologicznych (dorzecze Parsęty, Pomorze Zachodnie), *Studia i Prace z Geografii i Geologii*, 27, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Major M., Chudzińska M., Majewski M., 2022, Wielkość dostawy wybranych zanieczyszczeń atmosferycznych i ich wpływ na jakość wód w zurbanizowanej zlewni Różanego Strumienia w Poznaniu w latach hydrologicznych 2016–2020. *Przegląd Geograficzny*, 94, 4: 415–436. doi.org/10.7163/PrzG.2022.4.1.
- Major M., Chudzińska M., Majewski M., 2024, Wpływ warunków pogodowych na skład chemiczny i zasilanie oczek w zagłębiach meteorytowych (rezerwat „Meteoryt Morasko”, Poznań). *Przegląd Geograficzny*, 96, 3: 351–366. doi.org/10.7163/PrzG.2024.3.3
- Major M., Kolendowicz L., Marciniak M., Chudzińska M., Kruszyk R., Majewski M., Okońska M., Pótrolniczak M., Stefaniak M., Fabjańska W., 2024, Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Poznań-Morasko w 2023 roku. Sprawozdanie z realizacji II etapu umowy nr GIOŚ/ZP/139/2023/DMS/NFOŚiGW pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP) – nadzór merytoryczny oraz przeprowadzenie badań w latach 2023–2025”, Poznań, mscr.
- Major M., Marciniak M., Kolendowicz L., Chmiel J., Majewski M., Kruszyk R., Pótrolniczak M., Okońska M., Gudowicz J., Olejarczyk M., Zięba M., 2017, Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Różany Strumień w 2016 roku. Sprawozdanie z realizacji IV etapu umowy nr 18/2015/F pt. „Realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – nadzór merytoryczny oraz prowadzenie pomiarów w latach 2015–2017”, Poznań, mscr.
- Moczko A., 2012, Prognoza oddziaływania na środowisko dotycząca projektu miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego „Morasko–Radojewo–Umultowo” – Rezerwat Meteoryt Morasko w Poznaniu, Miejska Pracownia Urbanistyczna, Poznań.
- Okońska M., Pietrewicz K., 2017, Physical and chemical properties of surface waters in the Różany Strumień catchment in the years 1988–2012, *Quaestiones Geographicae*, 36(1): 33–49.
- Richling A., Solon J., Macias A., Balon J., Borzyszkowski J., Kistowski M. (red.), 2021, Regionalna geografia fizyczna Polski, Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych, 2021 (Dz.U. 2021 poz. 1475).
- Zwołński Z., Hildebrandt-Radke I., Mazurek M., Makohonienko M., 2017, Existing and proposed urban geosites values resulting from geodiversity of Poznań city, *Quaestiones Geographicae*, 36, 3: 125–149.

Abstract: Różany Strumień is a watercourse flowing through the Poznań metropolitan area and is subject to intense anthropogenic pressure. The aim of the study was to determine short-term changes in the physicochemical properties of the Różany Strumień's waters over a 48-hour period. The research was conducted from May 17 to May 19, 2024, and included both field measurements and laboratory analyses. The results allowed for an assessment of whether significant fluctuations could be observed within such a short period, indicating the influence of external factors on the functioning of the geoecosystem within the studied catchment. The conducted measurements demonstrated the stability of the physicochemical parameters of surface waters, which may suggest a minor impact of meteorological and hydrological conditions on the chemical composition of the Różany Strumień's waters during the study period, primarily due to the low amount of atmospheric precipitation.

Keywords: Różany Strumień, physicochemical properties, water quality, anthropopressure

Sekcja Meteorologii i Klimatologii, Studenckie Koło Naukowe
Geografów im. Stanisława Pawłowskiego
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Sebastian Kendzierski, Bartosz Czernecki, Leszek Kolendowicz

Ocena jakości prognoz krótkoterminowych modelu WRF dla obszaru Poznania

Zarys treści: Celem pracy była ocena wyników modelowania numerycznego temperatury powietrza i wilgotności względnej powietrza na obszarze Poznania. Symulacje przeprowadzono w oparciu o model Weather Research and Forecasting (WRF) z wykorzystaniem zagnieżdżonych domen dla docelowej rozdzielczości wynoszącej 1 km, w przedziale czasowym 60 godzin. Do oceny jakości prognoz wykorzystano dane obserwacyjne ze stacji IMGW i UAM zlokalizowanych na obszarze miasta. Metodologia weryfikacji zastosowana w badaniu została oparta na zaleceniach WMO. Uzyskane wyniki wskazują na duże zróżnicowanie jakości prognoz w różnych częściach miasta. Współczynniki korelacji Pearsona dla temperatury powietrza mieszczą się w przedziale 0,81–0,98 ze średnią obszarową wynoszącą 0,88. Wyniki badań jakościowo wykazują lepsze rozpoznanie przestrzennego rozkładu pola temperatury w porównaniu do wyników uzyskanych dla warunków higrycznych na obszarze miejskim.

Słowa kluczowe: model numeryczny, model WRF, prognoza pogody, parametryzacja modelu

Wstęp

Prognoza pogody to przewidywanie stanu atmosfery i związanych z nim zjawisk meteorologicznych dotyczących określonego obszaru i przedziału czasu. Tradycyjne prognozy pogody tworzone są przez synoptyków na podstawie różnych źródeł danych, pochodzących np. z naziemnej sieci pomiarowej, zobrażeń satelitów, skanów radarów dopplerowskich, detektorów burzowych, sondowania profili pionowych atmosfery oraz innych dostępnych produktów monitoringu

atmosfery. Synoptycy, prognozując przyszły stan atmosfery, opierają się zarówno na swoim doświadczeniu zdobywanym przez lata nauki i praktyki na tym stanowisku, jak i na wynikach numerycznych modeli prognostycznych (PWN, 2023).

Horyzont czasowy prognoz pogody może obejmować przewidywanie stanu atmosfery na najbliższe kilka godzin lub na dłuższy okres, taki jak kilka dni, tygodni lub miesięcy (Woś, 2002). W głównym centrum zainteresowania opinii publicznej są prognozy krótkoterminowe do 72 godzin, opracowywane na podstawie analizy danych z sieci pomiarów meteorologicznych, obrazowań satelitarnych, danych dostarczonych przez sieć pomiarów teledetekcyjnych, a także modeli numerycznych, które wykorzystują podstawowe opisy fizyczne przepływu powietrza (Tamulewicz, 1997).

Dynamiczne (fizyczne) prognozy bazują na określeniu związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy elementami pogody, które pozwalają na określenie przyszłego stanu atmosfery w oparciu o te związki. Numeryczna prognoza pogody (NWP) (ang. Numerical Weather Prediction) jest rozwinięciem i konkretnym zastosowaniem metod fizycznych. Opiera się ona na równaniach opisujących dynamikę atmosfery, najczęściej dla domeny obliczeniowej o zasięgu do 2000 km² i skalach czasowych od jednego do kilku dni. Rdzeń obliczeniowy numerycznej prognozy pogody stanowi oprogramowanie rozwiązujące układy równań matematycznych, które opisują z kolei procesy dynamiczne i termodynamiczne zachodzące w atmosferze. Wiele z tych równań rozwiązuje się jedynie w przybliżeniu, aby uprościć niezwykle skomplikowany system możliwych interakcji pomiędzy procesami zachodzącymi w atmosferze i zoptymalizować czas obliczeń, który w przypadku ich rozwiązywania na gęstej siatce obliczeniowej znacznie wydłuża wykonywanie symulacji nawet przy użyciu komputerów o dużej mocy obliczeniowej (Ebert i in., 2013).

Cel opracowania

Obecnie prognozy pogody są dostępne dla praktycznie każdego miejsca na świecie, a napływające w trybie ciągłym dane obserwacyjne sprawiają, że prognozy aktualizowane są nawet kilka razy dziennie (Chetan, Waghmare, 2022). Prognozy pogody są istotne w praktycznie każdej dziedzinie życia, począwszy od planowania codziennych aktywności, dla zapewnienia bezpieczeństwa w przypadku zagrożenia pogodowego (Ripberger i in., 2022; Stewart, Bolton, 2023), w przemyśle (Hader i in., 2022), rolnictwie (Parolini, 2022; Ouedraogo i in., 2022) czy sektorze turystycznym (Becken, 2010; Marchiori i in., 2018). Prognozy pogody oparte na technikach modelowania dynamicznego są także narzędziem, wspomagającym zrozumienie i przewidywanie zjawisk zachodzących w atmosferze.

W niniejszym opracowaniu wykorzystano mezoskalowy model WRF (ang. Weather Research and Forecasting model), który jest numerycznym modelem stworzonym do symulowania procesów zachodzących w atmosferze. Model ten powstał w latach 90. XX wieku w ramach prac zespołów zrzeszonych w konsorcjum NCAR (National Center for Atmospheric Research).

Modele mezoskalowe charakteryzują się dużą dokładnością symulowania procesów w ograniczonej domenie obliczeniowej, zarówno w odniesieniu do prognoz krótko-, jak i średnioterminowych (Kirkil i in., 2012). WRF jest uznawany za jeden z najbardziej zaawansowanych modeli numerycznych i może być konfigurowany do symulacji różnych procesów atmosferycznych, zarówno dla symulacji wyidealizowanych (np. do symulacji rozwoju cyrkulacji w komórce bryzowej lub przepływu powietrza nad obszarami o zróżnicowanej topografii), symulacji hindcastowych (Katrakou i in., 2015; Li i in., 2018; Xiangrui i in., 2022; Tewari i in., 2022) lub jako narzędzie dynamicznego downscalingu (Katrakou i in., 2015; Markina i in., 2018). Model WRF na tle innych modeli wyróżnia się możliwością przeprowadzania szczegółowych symulacji procesów atmosferycznych zachodzących w niewielkich skalach przestrzennych, co wpływa na jego szeroką aplikacyjność w zastosowaniach operacyjnych i badawczych. Jest on udostępniany jako oprogramowanie bezpłatne i z otwartego źródła, z możliwością modyfikacji kodu programistycznego do własnych potrzeb. Dużą zaletą modelu WRF jest jego wysoka konfigurowalność, szczegółowo opisana w dokumentacji technicznej (Wang i in., 2007; Skamarock i in., 2019).

Szerokie możliwości konfiguracji modelu WRF oddziałują na potencjalne różnice w uzyskiwanych wynikach (Davis i in., 2006; Argüeso i in., 2011; Mallard i in., 2015; Lin i in., 2017; Avolio, Federico, 2018; Gohil, Jin, 2019). Stąd też celem niniejszej pracy było określenie aplikacyjności modelu WRF w kontekście symulacji wykonywanych dla obszarów miejskich na przykładzie Poznania dla najczęściej stosowanych ustawień parametryzacyjnych, dla siatki obliczeniowej o rozdzielczości 1 km. Symulacja przeprowadzona w oparciu o zagnieżdżanie domen pozwala na uwzględnienie typowych dla skali miasta procesów, takich jak np. miejska wyspa ciepła.

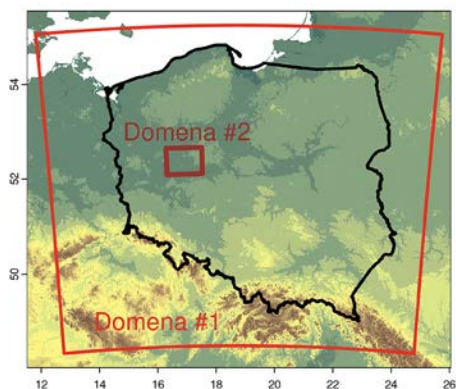
Realizacja założonego celu badawczego polegała na określeniu typowych błędów modelu dla prognozowania pola temperatury powietrza i wilgotności względnej z 1-godzinowym krokiem czasowym oraz określenia wartości dodanej wysokorozdzielczego modelu regionalnego do prognozowania warunków meteorologicznych w strefie oddziaływania miejskiej wyspy ciepła na przykładzie Poznania i okolic.

Poszczególne cele badawcze były realizowane na podstawie planu badań, który polegał w pierwszych krokach na wyborze rozdzielczości i ustawień parametryzacyjnych modelu WRF dla poszczególnych jego elementów, odpowiednim skonfigurowaniu modelu i stworzeniu skryptów programistycznych pozwalających na automatyzację wykonywania symulacji. Końcowym etapem było przetwarzanie post-processingowe, umożliwiające weryfikację danych modelowych z wykorzystaniem metod statystycznych.

Dane obserwacyjne

Numeryczne modele mezoskalowe wymagają do działania danych, za pomocą których możliwe jest ustanowienie warunków początkowych oraz warunków

brzegowych. Do zainicjowania symulacji potrzebna jest najczęściej wiedza o stanie atmosfery z innego modelu, np. globalnego. Dla każdej symulacji niezbędne jest także określenie informacji o rzeźbie terenu, pokryciu terenu przez roślinność, albedo itp. W niniejszym opracowaniu powyższe dane zostały pobrane



Ryc. 1. Domeny modelu WRF. 1 – obszar Polski, 2 – aglomeracja poznańska

Fig. 1. Domain of WRF model. 1 – area of Poland, 2 – area of Poznań

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 2. Rozmieszczenie stacji pomiarowych UAM i IMGW

Fig. 2. Location of UAM and IMGW measuring stations

Źródło: opracowanie własne.

z bazy danych serwera NCAR opartych na danych USGS (132 GB). Dane meteorologiczne oraz warunki początkowe i brzegowe wykorzystane do uruchomienia modelu WRF pochodziły z modelu globalnego Global Forecast System (GFS) (Kalnay i in., 1990). Dane dla modelu GFS zostały pobrane z serwerów soostrc.comet.ucar.edu dla okresu od 1 stycznia 2019 do 31 grudnia 2022 roku za pomocą przygotowanych skryptów powłoki UNIX (bash). W celu zaoszczędzenia przestrzeni dyskowej pliki w formacie GRIB zostały przetworzone do postaci, w której usunięto zbędne dane dla elementów meteorologicznych i obszarów, które nie były wymagane do uruchomienia modelu WRF. Finalna wielkość danych z modelu GFS użytych w badaniach wyniosła około 9 TB.

Domeną modelu WRF był obszar Poznania i okolic ograniczony siatką współrzędnych: 16.3°E, 52.7°N, 52.15°N, 17.6°E. Domena ta została zagnieźdzona w głównej domenie obliczeniowej o rozdzielczości 3 km (ryc. 1).

W procesie weryfikacji wyników z modeli numerycznych użyto danych pomiarowo-obszaryjnych dla stacji Poznań-Ławica pobranych z serwisu Dane Publiczne Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB) oraz danych meteorologicznych z obszaru aglomeracji poznańskiej pochodzących z sieci obserwacyjnej Zakładu Meteorologii i Klimatologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (ryc. 2).

Model WRF – ogólna charakterystyka

WRF należy do grupy modeli niehydrostatycznych, trójwymiarowych eulerowskich, w którym główny algorytm rozwiązywania równań różniczkowych bazuje na metodzie Rungego-Kutty drugiego i trzeciego rzędu (Michalakes i in., 1999). Zastosowanie metod rozwiązywania równań, które opisują stan atmosfery, pozwala na wykonywanie obliczeń z większym krokiem czasowym przy zachowaniu stabilności modelu i jednocześnie skracaniu czasu obliczeń (Wicker, Skamarock, 2002; Skamarock i in., 2004). Model WRF oferuje szeroki zakres zastosowań meteorologicznych dla rozdzielczości od kilkudziesięciu metrów do kilku tysięcy kilometrów. WRF może generować symulacje atmosferyczne z użyciem rzeczywistych danych (obserwacje i analizy) lub syntetycznych.

Testowanie parametryzacji, dobór odpowiednich ustawień konfiguracyjnych w niniejszej pracy polegały na odpowiednim przygotowaniu różnych wersji pliku `namelist.input`, który odpowiada za konfigurację modelu. Ustawienia modelu w zakresie parametryzacji zostały skonfigurowane z wykorzystaniem rezultatów wcześniejszych prac dla obszaru Europy (Mooney i in., 2013; Santos-Alamillos i in., 2013; Carvalho i in., 2014; Garcia-Diez i in., 2015; Kioutsioukis i in., 2016), w szczególności z części centralnej (Wałaszek i in., 2014; Kryza i in., 2017).

Parametryzacja mikrofizyki bazowała na schemacie modelu nr 8, tj. uaktualnionym schemacie Thompsona (Thompson i in., 2004, 2008) uwzględniającym 7 klas hydrometeorów oraz procesy związane z tworzeniem się lodu i jego interakcjami z kroplami wody. Parametryzacja odpowiedzialna za zjawiska fizyczne zachodzące w atmosferze i na powierzchni gruntu na drodze wiązki promieniowania krótkofalowego została przyjęta według ustawień schematu RRTMG (Iacono i in., 2008). Parametryzacja promieniowania długofalowego bazowała na schemacie RRTM (*Rapid Radiative Transfer Model*). Dla parametryzacji warstw przypowierzchniowych wybrano schemat nr 1, tj. MM5 (Jiménez i in., 2012), dla parametryzacji fizyki powierzchni schemat nr 2 – Noah (Mukul Tewari i in., 2004), dla parametryzacji planetarnej warstwy granicznej schemat nr 1 – Yonsei University (Hong i in., 2006), natomiast ustawienia dla parametryzacji chmur cumulus zostały wyłączone.

Weryfikacja prognoz

Weryfikacja prognoz jest problemem statystycznym, który obejmuje badanie i określenie relacji między zbiorami danych prognozowanych i obserwowanych (Jolliffe, Stephenson, 2012). Obliczenia wykonano w oparciu o pakiety: *hydro-GOF* (Zambrano-Bigiarini, 2020) oraz *verification* (NCAR – *Research Applications Laboratory*, 2015). W zamieszczonych poniżej wzorach wartości prognoz zapisane są jako F, natomiast O oznacza wartości zmierzone na stacji.

Mean Error (ME) – błąd średni jest wskaźnikiem określającym średnią różnicę pomiędzy wartościami prognozowanymi a obserwowanymi. Zaletą wskaźnika jest możliwość odczytu wartości błędu oraz kierunku odchylenia (zaniżanie lub

zawyzanie) prognozy (Nurmi 2003). Zakres wskaźnika waha się od $-\infty$ do $+\infty$, najlepsza wartością w kontekście kierunku odchylenia prognozy jest 0.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)$$

Mean Absolute Error (MAE) – średni błąd bezwzględny (absolutny) jest miarą dokładności prognozy. Jej wartość interpretowana jest jako wielkość błędu prognozy (Wilks, 2011) bez uwzględnienia kierunku tych odchylen. Zakres wskaźnika waha się od 0 do $+\infty$, najlepszą wartością jest 0.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i|$$

Mean squared error (MSE) – błąd średniokwadratowy jest wartością oczekiwaną błędu, czyli różnicy pomiędzy wartością prognozowaną a obserwowaną. Inaczej rozumiana jest jako odległość punktu od odpowiednio dopasowanej krzywej zależności wartości prognozowanej i obserwowanej. MSE nie wskazuje kierunku odchylen. Zakres wskaźnika waha się od 0 do $+\infty$, najlepszą wartością jest 0.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2$$

Root Mean Square Error (RMSE) – pierwiastek z błędu średniokwadratowego, podobnie jak MSE jest miarą odchylenia badanych wartości, nie wskazując przy tym jednak kierunku odchylen.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}$$

BIAS (b) – jest wielkością charakteryzującą odchylenie wartości prognozowanych od obserwowanych. Najlepiej nadaje się do zmiennych, które mają 0 jako dolną lub górną granicę. Nie mierzy jednak wielkości błędów – tj. zgodności między prognozami a obserwacjami (możliwe jest uzyskanie doskonałego wyniku dla złej prognozy, jeśli występują błędy kompensacyjne). Zakres wskaźnika waha się od $+\infty$ do $+\infty$, najlepszą wartością jest 1.

$$b = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_i}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N O_i}$$

Współczynnik korelacji (cor) – określa poziom zależności liniowej pomiędzy zmiennymi losowymi. Wartość współczynnika mieści się w przedziale od -1 do 1 . Im większa wartość bezwzględna, tym silniejsza jest zależność liniowa między zmiennymi ($r = 0$, wtedy nie występuje liniowa zależność między cechami, $r = 1$,

oznacza dokładną dodatnią liniową zależność między cechami, $r = -1$, oznacza dokładną ujemną liniową zależność między cechami) (Laio, Tamea, 2007). Wizualnie korelacja ta mierzy, jak blisko linii prostej znajdują się punkty wykresu punktowego. Nie uwzględnia odchylenia prognozy – możliwe jest, że prognoza z dużymi błędami nadal będzie miała dobry współczynnik korelacji z obserwacjami. Korelacja jest wrażliwa na wartości odstające. Zakres wskaźnika waha się od -1 do $+\infty$, natomiast najlepszą wartością jest 1.

$$cor = \frac{\sum_{i=1}^N (F - \bar{F})(O - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (F - \bar{F})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O - \bar{O})^2}}$$

Weryfikacja modelu WRF 1 km w obrębie aglomeracji poznańskiej

Temperatura powietrza

Do weryfikacji modelu WRF w domenie d02 (1 km) użyto 650 478 obserwacji. W badanym okresie 2019–2022 zanotowano minimalną temperaturę powietrza $-15,1^{\circ}\text{C}$ w punkcie Strzeszyn (dnia 10 lutego 2020 r.), natomiast zaprognozowana absolutna minimalna temperatura to $-18,5^{\circ}\text{C}$ dla punktu Dębina (dnia 17 stycznia 2021 roku).

Biorąc pod uwagę wszystkie wartości, średni błąd wskazuje na przeszacowanie prognozy temperatury powietrza (tab. 1). Dla badanego okresu błąd absolutny wyniósł $2,5^{\circ}\text{C}$. Korelacja wyniosła 0,88, przy dobrym dopasowaniu według współczynnika BIAS. W poszczególnych punktach pomiarowych wyróżnić można stacje, w których model przeszacował bądź nie doszacował wartości temperatury powietrza. Najmniejsze średnie błędy absolutne wystąpiły w centralnej części miasta (punkty: Piekary, Rusa, Słoneczna). Z kolei największe błędy odnotowano na stacji Strzeszyn. Stacja Poznań-Ławica, dla której prowadzone są obserwacje temperatury przez IMGW-PIB, uzyskała błąd na poziomie 2°C . Wszystkie punkty pomiarowe miały wysoką (tj. powyżej 0,8) korelację (tab. 2).

Wykres punktowy przedstawia rozkład normalny wartości z bardzo dużą liczbą wartości odstających (ryc. 3). Analizując wykres punktowy, dostrzec można największe błędy prognozy w przypadku prognozowania temperatury ujemnej. Dochodzi wtedy do prognozowania temperatury w okolicach 0°C , podczas gdy obserwowana wartość wynosi poniżej -10°C (ryc. 3). W zakresie temperatury od 5°C do 15°C zauważalna jest wyższa gęstość pomiarów obserwacji niż pochodzących z modelu WRF (ryc. 4). W pozostałych zakresach są one podobne do siebie. Mediany błędów wykazują największe różnice przy wartościach skrajnych temperatury powietrza (ryc. 5).

Tabela 1. Wskaźniki statystyczne prognozy temperatury powietrza dla stacji pomiarowych UAM i IMGW według modelu WRF (domena d02)

Table 1. Statistical indicators of air temperature forecast for UAM and IMGW measuring stations according to the WRF model (domain d02)

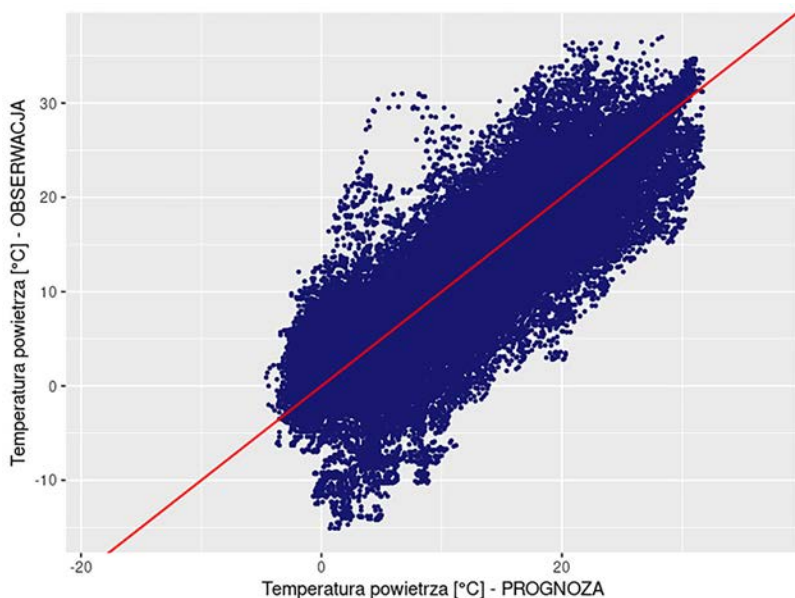
ME	MAE	RMSE	MSE	cor	BIAS
0,14	2,5	3,72	13,89	0,88	1,01

Tabela 2. Wskaźniki statystyczne błędów prognozy temperatury powietrza dla poszczególnych stacji pomiarowych UAM i IMGW według modelu WRF (domena d02)

Table 2. Statistical indicators of air temperature forecast errors for individual UAM and IMGW measuring stations according to the WRF model (domain d02)

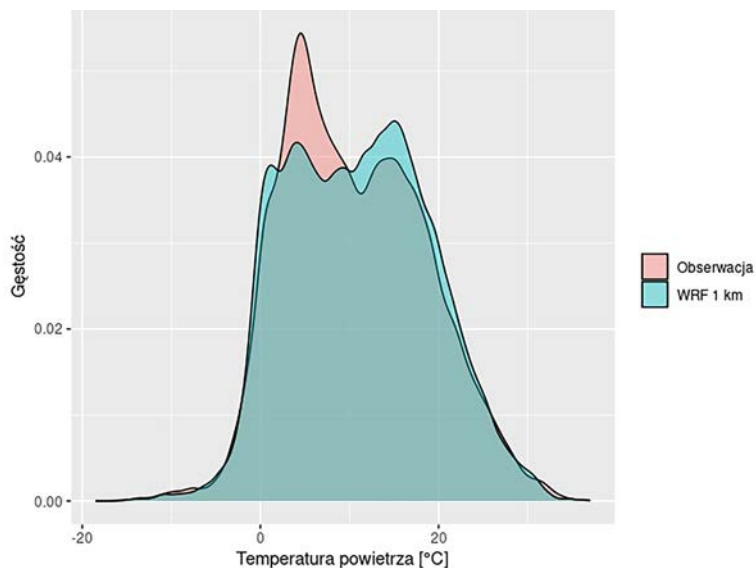
Stacja	ME	MAE	RMSE	MSE	cor	BIAS
Collegium Geographicum	0,00	3,02	4,12	17,01	0,85	1,00
Collegium Minus	0,44	3,15	4,71	22,17	0,86	1,04
Dębina	-0,30	2,47	3,46	11,99	0,89	0,97
Ławica	0,45	1,98	3,12	10,58	0,81	0,95
Piekary	-0,51	1,22	1,73	2,99	0,98	0,96
Rusa	-0,15	1,24	1,65	2,72	0,98	0,99
Słoneczna	0,55	1,19	1,55	3,05	0,98	0,99
Strzeszyn	1,43	4,01	5,36	28,73	0,81	1,15
Świerczewo	0,09	2,45	3,42	11,73	0,90	1,01

Źródło: opracowanie własne.

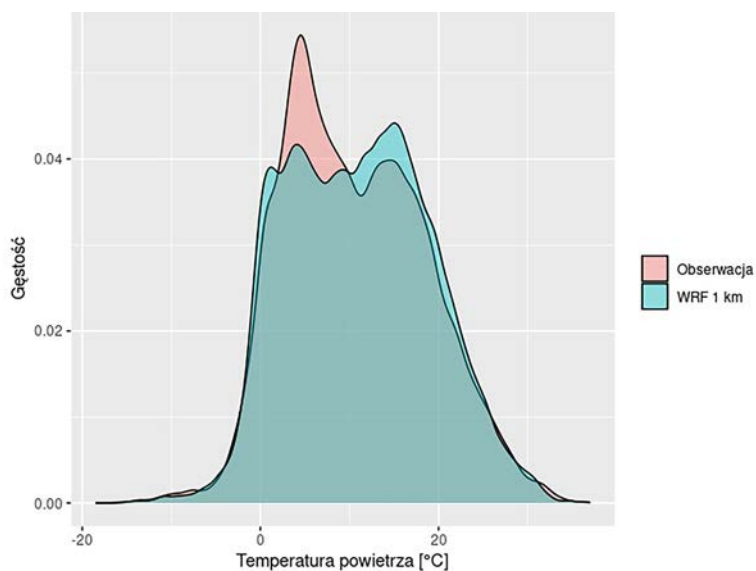


Ryc. 3. Wykres rozrzutu prognozowanej do obserwowanej temperatury powietrza dla stacji pomiarowych UAM i IMGW według modelu WRF dla domeny d02

Źródło: opracowanie własne.



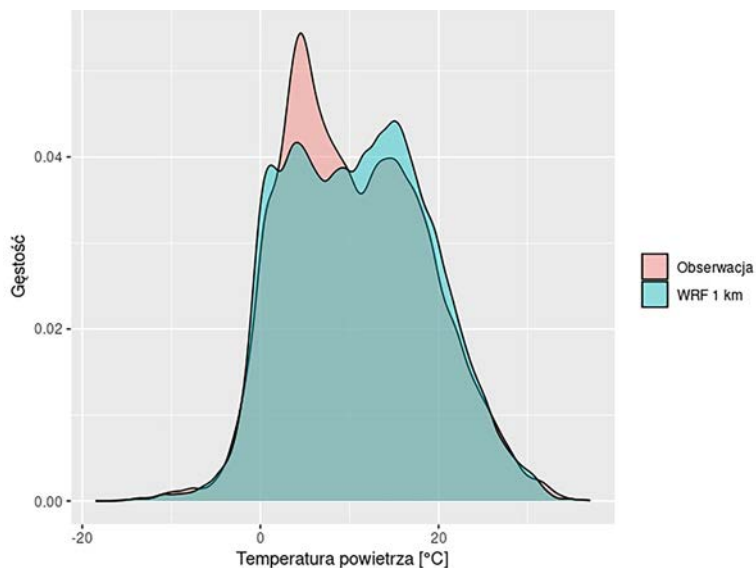
Ryc. 3. Wykres rozrzutu prognozowanej do obserwowanej temperatury powietrza dla stacji pomiarowych UAM i IMGW według modelu WRF dla domeny d02
Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 4. Rozkład gęstości prawdopodobieństwa temperatury powietrza dla stacji pomiarowych UAM i IMGW według modelu WRF dla domeny d02

Fig. 4. Probability density distribution of air temperature for UAM and IMGW measuring stations according to the WRF model for the d02 domain

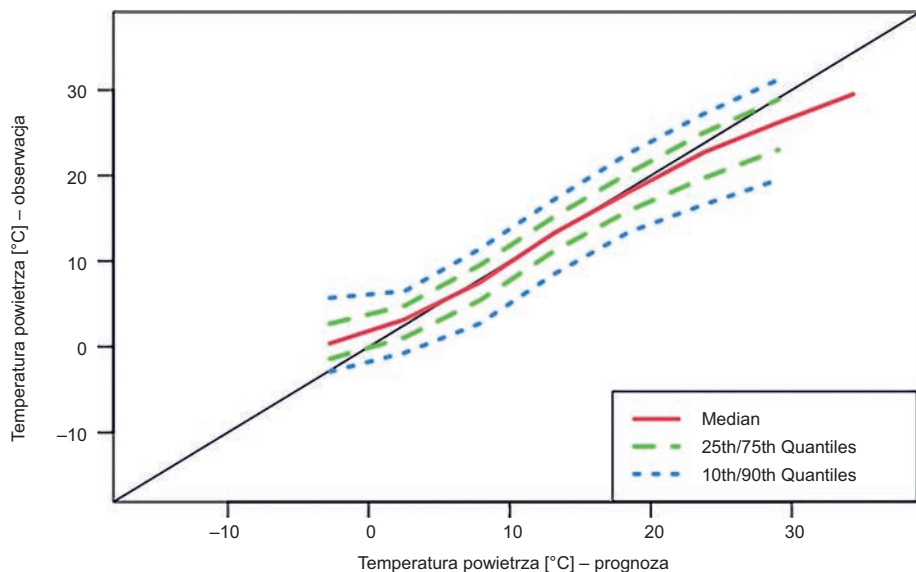
Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 4. Rozkład gęstości prawdopodobieństwa temperatury powietrza dla stacji pomiarowych UAM i IMGW według modelu WRF dla domeny d02

Fig. 4. Probability density distribution of air temperature for UAM and IMGW measuring stations according to the WRF model for the d02 domain

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 5. Wykres weryfikacyjny temperatury powietrza dla stacji pomiarowych UAM i IMGW według modelu WRF dla domeny d02

Fig. 5. Air temperature verification chart for UAM and IMGW measuring stations according to the WRF model for the d02 domain

Źródło: opracowanie własne.

Wilgotność względna

Do weryfikacji modelu WRF w domenie d02 (1 km) użyto 650 478 obserwacji. W badanym okresie 2019–2022 minimalną wilgotność względną powietrza 23% zanotowano w punkcie Collegium Geographicum (18 kwiecień 2020 roku), natomiast prognozowana absolutna minimalna wilgotność względna powietrza to 16% dla punktu Rusa (18 maja 2022 roku).

Biorąc pod uwagę wszystkie wartości, można zauważyć, że średni błąd wskazuje na niedoszacowanie prognozy wilgotności względnej powietrza o 10% (tab. 3). Dla badanego okresu błąd absolutny wyniósł 13%. Korelacja wyniosła 0,69 przy umiarkowanie dobrym dopasowaniu według współczynnika BIAS. Wszystkie punkty pomiarowe charakteryzuje niedoszacowanie wilgotnością przez model WRF, największe w punkcie Strzeszyn (tab. 4). Największy błąd absolutny wystąpił w punkcie Strzeszyn (18%), najmniejszy zaś w punkcie Słoneczna (9%). Na uwagę zasługuje współczynnik korelacji, który waha się od 0,62 w punkcie Collegium Minus do 0,86 w punkcie Ławica. Największe jednak dopasowanie występuje w 2 punktach: Collegium Minus (BIAS = 0,91) i Piekary (BIAS = 0,91).

Wykres punktowy przedstawia rozkład chi-kwadrat wartości, w którym większość obserwowanych zmiennych zawierała się w przedziale od 75 do 90% (ryc. 6). Rozpiętość punktów na wykresie punktowym prognozowanej wilgotności

Tabela 3. Wskaźniki statystyczne błędów prognozy wilgotności względnej dla stacji pomiarowych UAM według modelu WRF (domena d02)

Table 3. Statistical indicators of relative humidity forecast errors for UAM measuring stations according to the WRF model (domain d02)

ME	MAE	RMSE	MSE	cor	BIAS
-9,9	12,8	16,6	32,2	0,69	0,87

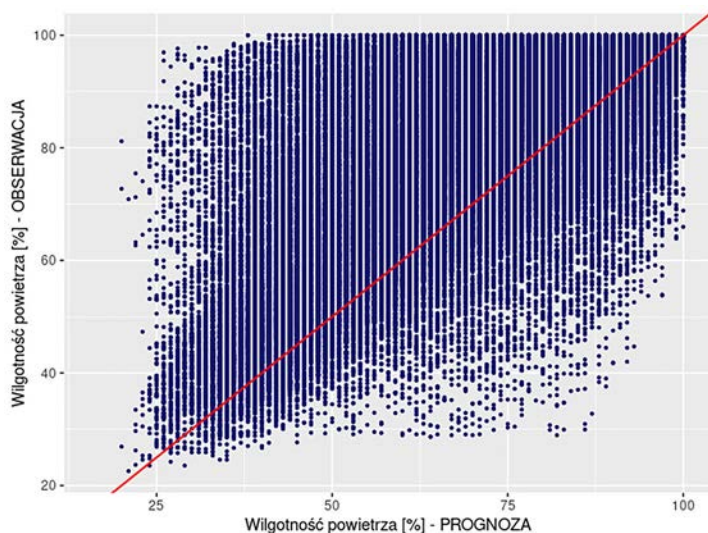
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Wskaźniki statystyczne błędów prognozy wilgotności względnej dla poszczególnych stacji pomiarowych UAM i IMGW według modelu WRF (domena d02)

Table 4. Statistical indicators of relative humidity forecast errors for individual UAM and IMGW measuring stations according to the WRF model (domain d02)

Stacja	ME	MAE	RMSE	MSE	cor	BIAS
Collegium Geographicum	-10,1	14,0	18,0	36,1	0,64	0,87
Collegium Minus	-7,0	12,4	16,6	33,2	0,62	0,91
Dębina	-10,1	12,1	15,5	31,0	0,74	0,88
Ławica	-5,5	15,2	14,4	28,8	0,86	0,89
Piekary	-6,6	9,1	11,4	22,9	0,85	0,91
Rusa	-11,7	12,6	15,1	30,2	0,84	0,86
Słoneczna	-6,4	8,6	12,0	24,0	0,84	0,86
Strzeszyn	-15,6	18,0	22,3	44,5	0,51	0,82
Świerczewo	-8,9	11,9	15,3	30,7	0,75	0,89

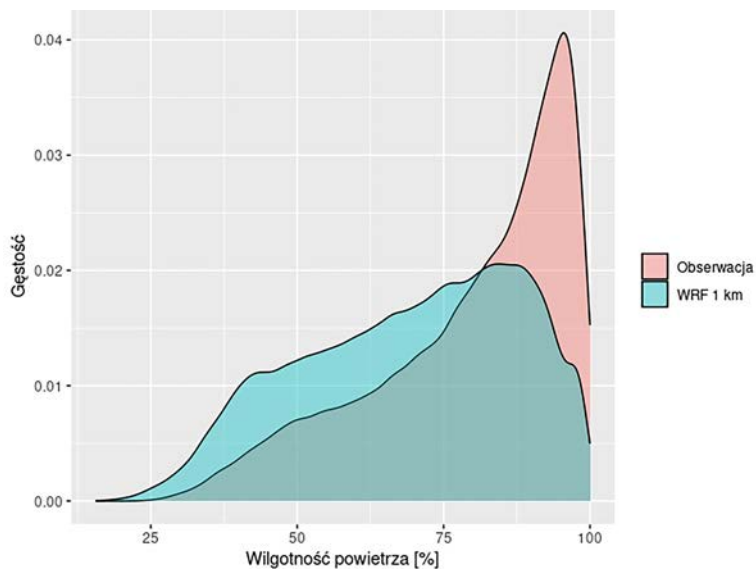
Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 6. Wykres punktowy prognozowanej do obserwowanej wilgotności względnej powietrza dla stacji pomiarowych UAM i IMGW według modelu WRF dla domeny d02

Fig. 6. Scatter plot of the forecasted relative air humidity to the observed relative air humidity for the UAM and IMGW measuring stations according to the WRF model for the d02 domain

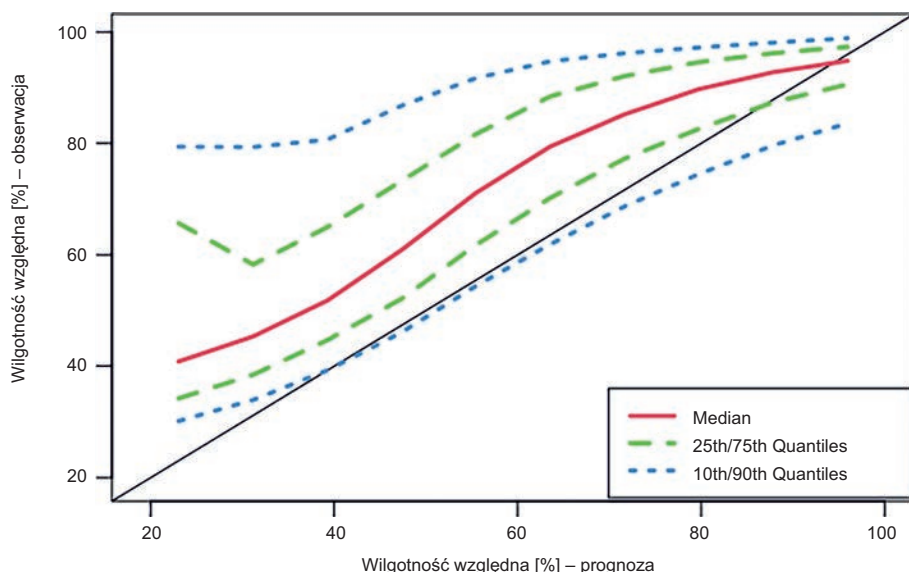
Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 7. Wykres gęstości wartości wilgotności względnej powietrza dla stacji pomiarowych UAM i IMGW według modelu WRF dla domeny d02

Fig. 7. Graph of the density of relative air humidity values for the UAM and IMGW measuring stations according to the WRF model for the d02 domain

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 8. Wykres weryfikacyjny wilgotności względnej powietrza dla stacji pomiarowych UAM i IMGW według modelu WRF dla domeny d02

Fig. 8. Verification chart of relative air humidity for UAM and IMGW measuring stations according to the WRF model for the d02 domain

Źródło: opracowanie własne.

względnej do obserwowanej cechuje bardzo duży rozrzut. Nie można jednoznacznie wskazać kierunku odchylenia. Analizując wykres gęstości wilgotności powietrza, zauważyć można różnice dla wartości modelowej w przedziale od 10% do 80%, które stanowią większość zbioru danych. Powyżej wartości 80% następuje znaczący przyrost liczebności zmiennych obserwacyjnych i największa różnica tych elementów, która powoduje wysoki błąd średni (ryc. 7). Mediana błędów nie jest stała dla całego zbioru punktów, co wskazuje na stałe niedoszacowanie tego elementu meteorologicznego (ryc. 8).

Podsumowanie

Wraz z postępującym rozwojem modeli numerycznych wzrasta znaczenie weryfikacji prognoz pogody. Weryfikacja służy otrzymaniu informacji na temat kierunku i wielkości odchylenia założonej prognozy do warunków obserwowanych. Jest również ważną informacją ilościową, której wynik może być dodany lub odejty w postaci stałego błędu prognozy (ang. *Model Output Statistic*, MOS) w celu zmniejszenia potencjalnych, stałych błędów modelu.

Obecnie dla obszaru Europy Centralnej oraz Polski wyróżnić można kilka przykładów numerycznych prognoz pogody prezentowanych na różnych portalach internetowych. Wyniki prognoz pochodzących z różnych systemów

prognostycznych, nawet w krótkim horyzoncie czasowym, niejednokrotnie różnią się od siebie.

Niniejsza praca miała na celu przede wszystkim określenie jakości prognozowanych pól geofizycznych w modelu WRF do warunków meteorologicznych występujących nad obszarem Poznania. Koncepcja dynamicznego *downscalingu* znajduje potwierdzenie w kontekście możliwości poprawy prognoz numerycznych uzyskiwanych z modelu globalnego.

Przetworzenie dużej liczby zaplanowanych symulacji wymagało odpowiedniego podejścia w zakresie automatyzacji pobierania informacji brzegowych i początkowych z modelu GFS, a także przygotowania danych wsadowych w komponencie WPS do uruchomienia symulacji w module WRF-ARW. Uzyskane w ten sposób wyniki symulacji były przetwarzane następnie przez odpowiednio przygotowane skrypty obliczeniowe oraz uprzednio sporządzone schematy archiwizowania danych.

Etap badań obejmujący weryfikację umożliwił porównanie wartości obserwowanych na obszarze Poznania i uzyskanych danych modelowych dla głównych parametrów meteorologicznych, takich jak temperatura oraz wilgotność względna powietrza. Pozwoliło to na określenie dokładności prognoz pogody w kontekście zastosowanych ustawień modelu, a także umożliwiło wskazanie typowych tendencji modelu WRF zarówno do zawyżania, jak i do zaniżania wartości. Dotyczyło to całego analizowanego zbioru danych.

Podsumowując rezultaty badań, można stwierdzić, że za pomocą dobrze dobranego modelu mezoskalowego stosowanego jako regionalny model klimatu (*Regional Climate Model*, RCM) możliwe jest opracowanie scenariusza warunków klimatycznych, które charakteryzują się dużym stopniem szczegółowości lub które nie są zapewniane przez modele globalne. Dane modelowe wysokiej rozdzielczości mogą być również wykorzystywane do badania miejskiej wyspy ciepła w relacji miasto–strefa podmiejska. Jak pokazały rezultaty niniejszej pracy, uzyskanie mniejszych błędów prognozy nie zawsze jest możliwe tylko poprzez zagęszczanie siatki obliczeniowej. Najczęściej jednak, stosując większą rozdzielczość modelu na obszarach mocno zurbanizowanych (centrum miasta), można zwiększyć współczynnik korelacji. Współczynnik ten powinien być sprzęgnięty z modelem MOS dla prognoz pogody rozpatrujących różnice, np. na poziomie poszczególnych dzielnic miasta.

Finansowanie

Badania zostały sfinansowane z grantu Narodowego Centrum Nauki (numer projektu: 2017/27/N/ST10/00565). Obliczenia przeprowadzono w Poznańskim Centrum Superkomputerowo-Sieciowym (PCSS), numer grantu 595 (<https://pcss.pl/>).

Literatura

- Argüeso D., Hidalgo-Muñoz J.M., Gámiz-Fortis S.R., Esteban-Parra M.J., Dudhia J., Castro-Díez Y., 2011, Evaluation of WRF parameterizations for climate studies over southern Spain using a multistep regionalization, *Journal of Climate*, 24(21): 5633–5651.
- Avolio E., Federico S., 2018, WRF simulations for a heavy rainfall event in southern Italy: Verification and sensitivity tests, *Atmospheric Research*, 209: 14–35.
- Becken S., 2010, The importance of climate and weather for tourism: literature review.
- Carvalho D., Rocha A.M.A.C., Gómez-Gesteira M., Santos C.S., 2014, Sensitivity of the WRF model wind simulation and wind energy production estimates to planetary boundary layer parameterizations for onshore and offshore areas in the Iberian Peninsula *Applied Energy*, 135: 234–246.
- Chetan D.D., Waghmare C., 2022, A Literature Review on Improvement of Weather Prediction By Using Machine Learning, *International Journal of Research Publication and Reviews*, 3(4): 35–38.
- Davis C., Wang W., Chen Y., Corbosiero K., Dudhia J., Holland G., ... Chen S., 2006, Advanced Research WRF Developments for Hurricane Prediction.
- Ebert E., Wilson L., Weigel A., Mittermaier M., Nurmi P., Gill P., ... Watkins A., 2013, Progress and challenges in forecast verification, *Meteorological Applications*, 20(2), 130–139.
- García-Díez M., Fernández J., San-Martín D., Herrera S., Gutiérrez J.M., 2015, Assessing and improving the local added value of WRF for wind downscaling, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 54(7): 1556–1568.
- Gohil K., Jin M.S., 2019, Validation and improvement of the WRF building environment parametrization (BEP) Urban Scheme, *Climate*, 7(9): 109.
- Hader J.D., Lane T., Boxall A.B., MacLeod M., Di Guardo A., 2022, Enabling forecasts of environmental exposure to chemicals in European agriculture under global change, *Science of the Total Environment*, 156478.
- Hahmann A.N., Vincent C.L., Peña A., Lange J., Hasager C.B., 2015, Wind climate estimation using WRF model output: method and model sensitivities over the sea, *International Journal of Climatology*, 35(12): 3422–3439.
- Hong S.Y., Noh Y., Dudhia J., 2006, A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes, *Monthly Weather Review*, 134(9): 2318–2341.
- Iacono M.J., Delamere J.S., Mlawer E.J., Shephard M.W., Clough S.A., Collins W.D., 2008, Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D13).
- Jiménez P.A., Dudhia J., González-Rouco J.F., Navarro J., Montávez J.P., García-Bustamante E., 2012, A revised scheme for the WRF surface layer formulation, *Monthly Weather Review*, 140(3): 898–918.
- Jolliffe I.T., Stephenson D.B. (red.), 2012, *Forecast verification: a practitioner's guide in atmospheric science*. John Wiley & Sons.
- Katragkou E., García-Díez M., Vautard R., Sobolowski S., Zanis P., Alexandri G., ... Jacob D., 2015, Regional climate hindcast simulations within EURO-CORDEX: evaluation of a WRF multi-physics ensemble, *Geoscientific Model Development*, 8(3): 603–618.
- Kioutsioukis I., de Meij A., Jakobs H., Katragkou E., Vinuesa J.F., Kazantzidis A., 2016, High resolution WRF ensemble forecasting for irrigation: Multi-variable evaluation, *Atmospheric Research*, 167: 156–174.
- Kirkil G., Mirocha J., Bou-Zeid E., Chow F.K., Kosović B., 2012, Implementation and evaluation of dynamic subfilter-scale stress models for large-eddy simulation using WRF, *Monthly Weather Review*, 140(1): 266–284.

- Kryza M., Wałaszek K., Ojrzyska H., Szymanowski M., Werner M., Dore A.J., 2017, High-resolution dynamical downscaling of ERA-interim using the WRF regional climate model for the area of Poland. Part 1: model configuration and statistical evaluation for the 1981–2010 Period, *Pure and Applied Geophysics*, 174(2): 511–526.
- Laio F., Tamea S., 2007, Verification tools for probabilistic forecasts of continuous hydrological variables, *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(4): 1267–1277.
- Li X., Fan K., Yu E., 2018, A heavy rainfall event in autumn over Beijing – atmospheric circulation background and hindcast simulation using WRF, *Journal of Meteorological Research*, 32: 503–515.
- Lin C., Zhang Z., Pu Z., Wang F., 2017, Numerical simulations of an advection fog event over Shanghai Pudong International Airport with the WRF model, *Journal of Meteorological Research*, 31(5): 874–889.
- Mallard M.S., Nolte C.G., Spero T.L., Bullock O.R., Alapaty K., Herwehe J.A., ... Bowden J.H., 2015, Technical challenges and solutions in representing lakes when using WRF in downscaling applications, *Geoscientific Model Development*, 8(4): 1085–1096.
- Marchiori E., Scaglione M., Schegg R., Cantoni L., 2018, Research agenda for analysing online climate and weather information in the process of vacation planning, *e-Review of Tourism Research*.
- Markina M., Gavrikov A., Gulev S., Barnier B., 2018, Developing configuration of WRF model for long-term high-resolution wind wave hindcast over the North Atlantic with WAVEWATCH III, *Ocean Dynamics*, 68: 1593–1604.
- Michalakes J., Dudhia J., Gill D., Henderson T., Klemp J., Skamarock W., Wang W., 2005, The weather research and forecast model: software architecture and performance, [w:] *Use of high performance computing in meteorology*, s. 156–168.
- Mooney P.A., Mulligan F.J., Fealy R., 2013, Evaluation of the sensitivity of the weather research and forecasting model to parameterization schemes for regional climates of Europe over the period 1990–95, *Journal of Climate*, 26(3): 1002–1017.
- Mukul Tewari N.C.A.R., Tewari M., Chen F., Wang W., Dudhia J., LeMone M., ... Cuenca R.H., 2004, Implementation and verification of the unified NOAA land surface model in the WRF model (Formerly Paper Number 17.5), *Proceedings of the 20th conference on weather analysis and forecasting/16th conference on numerical weather prediction*, Seattle, WA, USA, vol. 14.
- NCAR Laboratory, 2015, verification: Weather Forecast Verification Utilities_. R package version 1.42 (<https://CRAN.R-project.org/package=verification>).
- Nurmi P., 2003, Recommendations on the verification of local weather forecasts.
- Ouedraogo A., Egyir I.S., Ouedraogo M., Jatoe J.B.D., 2022, Farmers' Demand for Climate Information Services: A Systematic Review, *Sustainability*, 14(15): 9025.
- Parolini G., 2022, Weather, climate, and agriculture: Historical contributions and perspectives from agricultural meteorology, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 13(3): e766.
- PWN (b. d.), *Słownik języka polskiego PWN* (<https://sjp.pwn.pl/>; dostęp: 2.01.2023).
- Ripberger J., Bell A., Fox A., Forney A., Livingston W., Gaddie C., ... Jenkins-Smith H., 2022, Communicating probability information in weather forecasts: Findings and recommendations from a living systematic review of the research literature, *Weather, Climate, and Society*, 14(2): 481–498.
- Santos-Alamillos F.J., Pozo-Vázquez D., Ruiz-Arias J.A., Lara-Fanego V., Tovar-Pescador J., 2013, Analysis of WRF model wind estimate sensitivity to physics parameterization choice and terrain representation in Andalusia (Southern Spain), *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(7): 1592–1609.

- Skamarock W.C., 2004, Evaluating mesoscale NWP models using kinetic energy spectra, *Monthly Weather Review*, 132(12): 3019–3032.
- Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Liu Z., Berner J., ... Huang X.Y., 2019, A description of the advanced research WRF model version 4, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA, 145(145), 550.
- Stewart A.E., Bolton M.J., 2023, Digital weather information in an embodied world, *Informatics*, 10, 1: 13.
- Tamulewicz J., 1997, Pogoda i klimat Ziemi, [w:] *Wielka encyklopedia geografii świata*, t. 5, Wydawnictwo Kurpisz, Poznań, s. 294–296.
- Tewari M., Chen F., Dudhia J., Ray P., Miao S., Nikolopoulos E., Treinish L., 2022, Understanding the sensitivity of WRF hindcast of Beijing extreme rainfall of 21 July 2012 to microphysics and model initial time, *Atmospheric Research*, 271: 106085.
- Wąlaszek K., Kryza M., Werner M., 2014, Evaluation of the WRF meteorological model results during a high ozone episode in SW Poland – the role of model initial conditions, *International Journal of Environment and Pollution*, 15, 54(2–4): 193–202.
- Wang W., Barker D., Bray J., Bruyere C., Duda M., Dudhia J., ... Michalakes J., 2007, User's guide for advanced research WRF (ARW) modeling system version 3, Mesoscale and Microscale Meteorology Division – National Center for Atmospheric Research (MMM–NCAR).
- Wicker L.J., Skamarock W.C., 2002, Time-splitting methods for elastic models using forward time schemes, *Monthly Weather Review*, 130(8): 2088–2097.
- Wilks D.S., 2011, *Statistical methods in the atmospheric sciences*, vol. 100, Academic Press.
- Woś A., 2002, *Meteorologia dla geografów*, PWN, Warszawa.
- Zambrano-Bigiarini M., 2020, hydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time seriesR. package version 0.4-0 (<https://github.com/hzambran/hydroGOF>. DOI:10.528 /zenodo.839854).

Assessment of the quality of short-term forecasts of the WRF model for the Poznań area

Abstract: The aim of this study was to evaluate the results of numerical modeling of air temperature and relative humidity in the area of Poznań. Simulations were carried out using the Weather Research and Forecasting (WRF) model with nested domains, reaching a target spatial resolution of 1 km, over a 60-hour period. Observational data from IMGW and UAM stations located within the city were used to assess forecast quality. The verification methodology applied in the study was based on the recommendations of the WMO. The results indicate significant spatial variability in forecast accuracy across different parts of the city. Pearson correlation coefficients for air temperature range from 0.81 to 0.98, with a city-wide average of 0.88. The results show qualitatively better recognition of the spatial distribution of the temperature field compared to the modeling results for hygrometric conditions in the urban area.

Keywords: numerical model, WRF model, weather forecasting, model parameterization

Sekcja Meteorologii i Klimatologii,
Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Martyna Górecka

Termiczne dni charakterystyczne i skrajne obciążenia cieplne człowieka w Łebie oraz ich cyrkulacyjne uwarunkowania

Zarys treści: Współcześnie postępujące globalne ocieplenie prowadzi do szeregu zmian warunków klimatycznych i bioklimatycznych na całym świecie. Globalne dane nie odzwierciedlają jednak w pełni różnic przestrzennych tempa zmian na poziomie regionalnym, jakim jest polskie wybrzeże Bałtyku Południowego. Z powyższego powodu zbadano warunki bioklimatyczne oraz określono skalę ich zmian w nadmorskiej miejscowości – Łebie. Analiza obejmowała występowanie charakterystycznych dni termicznych oraz obciążeń cieplnych człowieka według Uniwersalnego Wskaźnika Obciążeń Ciepłych (UTCI) w latach 1966–2020. Ich cyrkulacyjne uwarunkowania przeanalizowano z wykorzystaniem kalendarza cyrkulacji GWL (Grosswetterlagen) i GWT (Grosswettertypen). Stwierdzono istotny statystycznie wzrost liczby dni gorących oraz upalnych w sezonie letnim. Występowanie skrajnych warunków bioklimatycznych w Łebie związane jest najczęściej z pojawieniem się cyrkulacji centralnej wyżowej, warunkującej adwekcję powietrza kontynentalnego z sektora północno-wschodniego w zimie oraz powietrza zwrotnikowego z sektora południowego w sezonie letnim. Dni z bardzo silnym stresem zimna występują natomiast niemal we wszystkich typach cyrkulacji, najczęściej w czasie cyrkulacji zachodniej przesuniętej ku południowi.

Słowa kluczowe: termiczne dni charakterystyczne, UTCI, cyrkulacja atmosferyczna, Łeba

Wprowadzenie

Współczesne zmiany klimatu stanowią jedno z największych wyzwań XXI wieku (Feulner, 2017), a według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO, 2024) największe

sze zagrożenie dla zdrowia ludzi. W latach 1970–2019 ekstremalne warunki meteorologiczne, klimatologiczne oraz hydrologiczne doprowadziły do ponad 2 mln nadmiarowych zgonów oraz 3,6 bln dolarów amerykańskich strat gospodarczych na całym świecie (WMO, 2021). W latach 2011–2020 globalna średnia temperatura powietrza była o $1,1^{\circ}\text{C}$ wyższa od średniej z lat 1850–1900 – reprezentatywnej dla okresu przedprzemysłowego (IPCC, 2023). 10 najcieplejszych lat ze 174-letniego okresu pomiarowego przypada na ostatnie dziesięciolecie (NOAA, 2025). Statystyki te znajdują odzwierciedlenie w badaniach, które wskazują na silny wzrost temperatury powietrza w Polsce (Wójcik, Miętus, 2014; Marosz i in., 2023). Tendencja wzrostu temperatury w Polsce jest wyraźnie wyższa od trendu temperatury globalnej oraz nieco silniejsza od trendu temperatury w umiarkowanych szerokościach półkuli północnej (Marsz, Styszyńska, 2019). Na tle regionów Polski szczególną podatnością na zmiany klimatu wyróżnia się obszar wybrzeża Bałtyku, gdzie w okresie 1951–2010 średnie tempo wzrostu średniej rocznej temperatury powietrza wynosiło $0,24^{\circ}\text{C}/10$ lat (Wójcik i Miętus, 2014). Analizy tendencji zmian warunków termicznych wykazują niejednolite sezonowe tempo wzrostu. W latach 1951–2021 najwyższe tempo wzrostu średniej sezonowej temperatury powietrza odnotowano zimą ($0,36^{\circ}\text{C}/10$ lat) oraz wiosną ($0,35^{\circ}\text{C}/10$ lat) (Marosz i in., 2023; Szwed, Wasielewska, 2024). Istotny wzrost dotyczył również przebiegu minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza (Koźmiński i Michalska, 2008), z najsilniejszym trendem notowanym zimą (Wibig, Głowacki, 2002; Kolendowicz i in., 2019; Tomczyk i in., 2021, 2025). Występowanie silnej tendencji rosnącej temperatury powietrza powoduje zmiany cech pór roku, uznawanych za normalne i reprezentatywne dla obszaru badań. Obserwowane jest łagodnienie zimy (Twardosz, Kossowska-Cezak, 2016; Tomczyk i in., 2024) oraz wzrost częstości występowania i intensywności upałów w okresie lata (Wibig i in., 2009; Twardosz, Kossowska-Cezak, 2015). Analizy częstości występowania ekstremalnie wysokich wartości temperatury powietrza potwierdzają zwiększoną liczbę dni upalnych i gorących oraz istotne zmiany w liczbie dni bardzo upalnych (Wibig i in., 2009; Koźmiński, Michalska, 2010, 2011; Graczyk i in., 2017; Wypych i in., 2017; Półrolniczak i in., 2024).

Na poziom dyskomfortu termicznego człowieka składa się zbiór czynników biometeorologicznych. Poszczególne elementy, tj. temperatura powietrza, wilgotność powietrza, prędkość wiatru oraz natężenie promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni ciała, stanowią najsilniejsze bodźce wpływające na zdrowie i samopoczucie człowieka (Błażejczyk, Baranowski, 2021; Tomczyk, Bednorz, 2023). W okresie ostatnich stu lat opracowano i wykorzystywano wiele wskaźników oceniających wpływ warunków atmosferycznych na organizm człowieka. Jednym z nowszych wskaźników służących do oceny zmian fizjologicznych organizmu zachodzących pod wpływem warunków środowiskowych jest Uniwersalny Wskaźnik Obciążeń Ciepłych (ang. Universal Thermal Climate Index, UTCI). Wysokie wartości wskaźnika odnotowywane są w skrajnych, niebezpiecznych dla organizmu warunkach stresu ciepła, natomiast niskie – w warunkach stresu zimna (Błażejczyk i in., 2010). Ze względu na łatwą dostępność podstawowych danych pomiarowych, UTCI wykorzystywane jest powszechnie

do kompleksowych analiz warunków bioklimatycznych. W polskiej literaturze przedmiotu większość autorów koncentruje się na skrajnych wartościach parametru – ekstremalnych obciążeniach stresem ciepła (Tomczyk, Owczarek, 2020; Błażejczyk, Baranowski, 2021) oraz stresem zimna (Wereski i in., 2020). Analizy te, szczególnie istotne w kontekście zagrożenia zdrowia i życia, wskazują wzrost częstości występowania dni ze stresem ciepła (Błażejczyk i in., 2020; Kuchcik, 2021). W latach 1973–2014 w Polsce liczba dni z dużym stresem gorąca wzrastała z 5 do około 10 dni. Równolegle obserwowano tendencję spadkową liczby dni z dużym stresem zima, z około 55 na początku, do około 30 pod koniec badanego okresu (Błażejczyk, Baranowski, 2021).

Bioklimat Łeby cechuje się wysoką bodźcowością za sprawą dużej zmienności warunków atmosferycznych z dnia na dzień, a nawet z godziny na godzinę. Notuje się także wysoki udział dni uciążliwych, wynikających ze znacznej wielkości ochładzającej powietrza i specyficznych warunków anemologicznych (Medzińska, 1991; Błażejczyk, Kunert, 2011). W literaturze przedmiotu poświęconej częstości występowania dni gorących i upalnych w Łebie na przestrzeni lat 1986–2007 nie odnotowano istotnych statystycznie zmian. Również w przypadku dni mroźnych oraz bardzo mroźnych nie stwierdzono istotnego statystycznie trendu (Kozłowski, Michalska, 2010). Badania Tyłkowskiego (2017) wykazały spadek liczby dni obojętnych pod względem bodźcowości warunków meteorologicznych, a tempo tych zmian wynosiło 8 dni w ciągu 10 lat. Odnotowano także spadek liczby dni ze słabo odczuwalnymi bodźcami, wynoszący 4 dni na 10 lat. Wraz z postępującym ociepleniem następował wzrost średnich sezonowych oraz rocznych wartości UTCI, co wskazywało na łagodzenie lokalnego klimatu (Półrolniczak i in., 2016). W ostatnich dekadach obserwowany był wzrost liczby dni z brakiem obciążeń cieplnych oraz spadek liczby dni z silnym stresem zimna (Mąkosza i in., 2015; Kolendowicz i in., 2018). W sezonie letnim częstość występowania dni z silnym i bardzo silnym stresem ciepła wykazywała rosnące, lecz nieistotne statystycznie zmiany (Owczarek i in., 2019).

Cyrkulacja atmosferyczna jest jednym z najważniejszych, obok obiegu ciepła i obiegu wilgoci, procesów klimatotwórczych, mającym zasadniczy wpływ na czasową i przestrzenną zmienność elementów meteorologicznych, a tym samym warunków bioklimatycznych (Wołoszyn, 2009). Polskie wybrzeże Morza Bałtyckiego znajduje się w zasięgu oddziaływania głównych ośrodków barycznych kształtujących warunki klimatyczne w Europie Środkowej: Nizy Islandzkiego, Wyżu Azorskiego oraz sezonowych układów barycznych nad Rosją (Miętus i in., 2004). Intensywna wymiana mas powietrza, związana z przeważającym udziałem cyrkulacji zachodniej, przyczynia się do dynamicznych – często znacznych – międzydobowych zmian warunków meteorologicznych w tym regionie (Błażejczyk i Kunert, 2011; Owczarek i in., 2019). Konsekwencją specyficznych warunków lokalnych wybrzeża jest rozkład poszczególnych klas wskaźnika UTCI, który odbiega od wartości charakterystycznych dla Polski. Dni z obciążeniami cieplnymi silniejszymi niż umiarkowany stres ciepła występują w Łebie rzadziej niż w innych regionach kraju i najrzadziej na całym wybrzeżu (Mąkosza i in., 2015; Półrolniczak i in., 2016; Kozłowski, Michalska, 2019; Tomczyk, Bednorz, 2023).

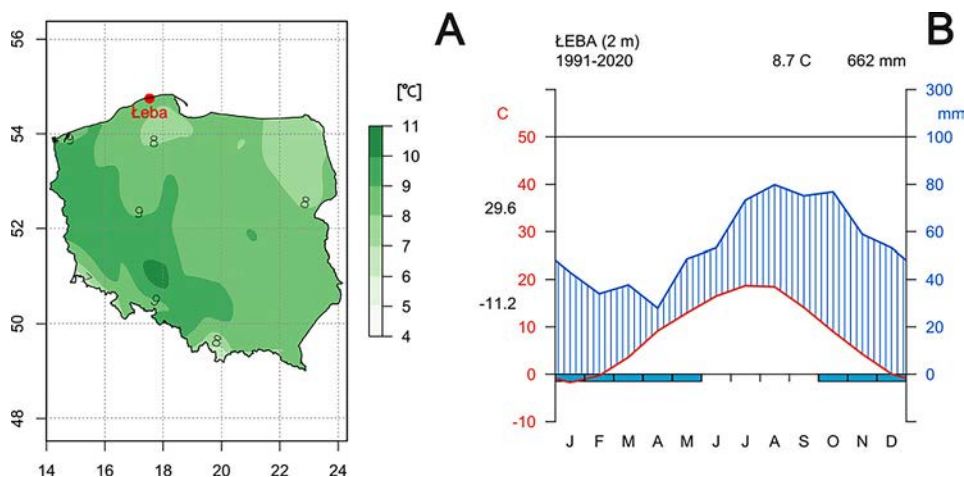
W literaturze przedmiotu opublikowano liczne prace poświęcone obciążeniom cieplnym w pasie wybrzeża, szczególnie silnemu stresowi ciepła oraz bardzo silnemu stresowi zimna, w kontekście analizy cyrkulacyjnych uwarunkowań ich wystąpienia. Dni z silnym stresem ciepła występowały w wyniku adwekcji ciepłych mas powietrza zwrotnikowego z południa. Taka sytuacja miała miejsce najczęściej w przypadku zlokalizowania centrum wysokiego ciśnienia na północny wschód od Polski (Półtrołniczak i in., 2016; Kolendowicz i in., 2018; Owczarek i in., 2019; Bednorz, Tomczyk, 2025). Adwekcja chłodnych mas powietrza, sprzyjająca wystąpieniu bardzo silnego stresu zimna, najczęściej następowała z sektora wschodniego w przypadku rozległego wyżu na północy Europy lub z sektora północno-wschodniego przy układzie niskiego ciśnienia z centrum na północny wschód od Polski (Półtrołniczak i in., 2016).

Celem opracowania jest określenie sezonowej zmienności oraz wieloletnich trendów zmian liczby termicznych dni charakterystycznych (gorących, upalnych, mroźnych, bardzo mroźnych), a także dni z obciążeniami cieplnymi człowieka (dni z umiarkowanym stresem ciepła, dni z bardzo silnym stresem zimna), a następnie ustalenie cyrkulacyjnych uwarunkowań ich występowania. Podjęta problematyka zyskuje na znaczeniu w kontekście rosnącej świadomości prozdrowotnych właściwości środowiska nadmorskiego. Uwarunkowania bioklimatyczne strefy przybrzeżnej odgrywają kluczową rolę w determinowaniu atrakcyjności turystycznej oraz w organizacji funkcjonowania infrastruktury wypoczynkowej. Rosnący potencjał turystyczny Łeby, przy równoczesnym nasilaniu się zjawisk o charakterze ekstremalnym, skłania do rozpoznania lokalnych warunków biotermicznych i kierunków ich zmian. Stanowi także podstawę do działań adaptacyjnych w zakresie planowania przestrzennego oraz ochrony zdrowia publicznego.

Obszar badań

Łeba jest miejscowością w północnej Polsce, w bezpośrednim sąsiedztwie Morza Bałtyckiego (ryc. 1A). Miejscowość, w świetle podziału fizycznogeograficznego, położona jest w mezoregionie Wybrzeża Słowińskiego, będącego wąskim pasem makroregionu Pobrzeża Koszalińskiego, w prowincji Pobrzeża Południowobałtyckiego (Staszek i in., 2021). Miasto Łeba leży w granicach otuliny Słowińskiego Parku Narodowego, natomiast sama stacja Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytut Badawczego w Łebie w parku narodowym. Miejscowość zlokalizowana jest między jeziorami przybrzeżnymi: Sarbsko od wschodu i Łebsko od zachodu oraz Morzem Bałtyckim od północy.

Łeba, zgodnie z klasyfikacją Köppena-Geigera (Kottek i in., 2006), znajduje się w zasięgu klimatu ciepłego wilgotnego Cfb, o cechach oceanicznych. W okresie 1991–2020 średnia roczna temperatura powietrza w Łebie wynosiła 8,7°C (ryc. 1B) (Tomczyk, 2022). Miesięczna wartość temperatury powietrza wahała się od 0,2°C w styczniu do 17,5°C w lipcu i 17,6°C w sierpniu (ryc. 1B). Cechy te – łagodne zimy, chłodne lata oraz niewielkie amplitudy temperatury powietrza w ciągu roku – są charakterystyczne dla klimatów obszarów nadmorskich (ryc. 1B).



Ryc. 1. Średnia roczna temperatura powietrza w Polsce w latach 1991–2020 (A) i diagram klimatyczny dla Łeby za lata 1991–2020 (B)

Źródło: opracowanie własne na podstawie pakietu R: Climatol.

Położenie w zasięgu oddziaływania wilgotnych mas znad Oceanu Atlantyckiego zaznacza się również w charakterystykach warunków pluwialnych i termiczno-pluwialnych. Średnia roczna suma opadów w Łebie wynosiła 662 mm (ryc. 1B), z najwyższą miesięczną sumą przypadającą na wrzesień (79,8 mm), a najniższą na luty (34,0 mm).

Według regionalizacji bioklimatycznej, Łeba należy do Regionu Nadmorskiego, który charakteryzuje się specyficznymi cechami klimatycznymi i bioklimatycznymi (Błażejczyk, Kunert, 2011). Na tym obszarze występują najniższe w kraju roczne liczby termicznych dni charakterystycznych, takich jak dni gorące oraz bardzo mroźne (Błażejczyk, Kunert, 2011; Tomczyk, 2022). Na uciążliwość warunków biotermicznych w Łebie istotny wpływ ma przede wszystkim wysoka średnia roczna prędkość wiatru oraz średnia wilgotność względna powietrza, jak również wielkość i częstość międzydobowych zmian ciśnienia atmosferycznego (Woś, 2010; Błażejczyk, Kunert, 2011).

Dane i metody badań

Podstawą niniejszego opracowania są dobowe wartości podstawowych elementów meteorologicznych z okresu 1966–2020 ze Stacji Hydrologiczno-Meteorologicznej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej-Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-BIP) w Łebie ($\varphi = 54^{\circ}45'13''$; $\lambda = 17^{\circ}32'05''$). W celu wyznaczenia termicznych dni charakterystycznych wykorzystano wartości maksymalnej dobowej temperatury powietrza. Zgodnie z podziałem zaproponowanym przez Kossowską-Cezak i in. (2000) wydzielono następujące termiczne dni charakterystyczne: dni gorące ($30^{\circ}\text{C} > t_{\text{max}} \geq 25^{\circ}\text{C}$), dni upalne ($t_{\text{max}} \geq 30^{\circ}\text{C}$), dni mroźne ($0,0^{\circ}\text{C} > t_{\text{max}} \geq -10,0^{\circ}\text{C}$) oraz dni bardzo mroźne ($t_{\text{max}} < -10^{\circ}\text{C}$). Badanie występo-

wania dni gorących i upalnych ograniczono do miesięcy letnich (VI–VIII), a dni mroźnych i bardzo mroźnych do miesięcy zimowych (XII–II). Na podstawie pomiarów temperatury powietrza ($^{\circ}\text{C}$), wilgotności względnej powietrza (%), zachmurzenia (okt.), ciśnienia atmosferycznego (hPa) i prędkości wiatru (m/s), pobranych z ogólnodostępnych baz danych IMGW-BIP, zostały obliczone wartości UTCI przy użyciu pakietu oprogramowania BioKlima 2.6 (Błażejczyk i in., 2010), dla godziny 12 UTC dla okresu 1971–2020. Na podstawie uzyskanych wartości określono liczbę przypadków występowania obciążeń cieplnych organizmu (tab. 1). Do analizy wykorzystano wystąpienie dni z umiarkowanym (od $+26$ do $+32^{\circ}\text{C}$) w miesiącach letnich (VI–VIII) oraz dni z bardzo silnym stresem zimna (od -40 do -27°C) w miesiącach zimowych (XII–II).

Tabela 1. Skala oceny obciążeń cieplnych organizmu według wskaźnika UTCI (Błażejczyk i in., 2010)

UTCI ($^{\circ}\text{C}$)	Obciążenie cieplne	Sposób przeciwdziałania
powyżej $+46$	Nieznosny stres ciepła	Niezbędne okresowe schładzanie organizmu, konieczne uzupełnianie płynów $> 0,5$ l/godz. Należy unikać dużego wysiłku fizycznego.
$+38$ do $+46$	Bardzo silny stres ciepła	Konieczne okresowe korzystanie z pomieszczeń klimatyzowanych lub miejsc zacienionych, niezbędne uzupełnianie płynów $> 0,5$ l/godz. Należy ograniczyć wysiłek fizyczny.
$+32$ do $+38$	Silny stres ciepła	Niezbędne uzupełnianie płynów $0,25$ l/godz., pożądane korzystanie z miejsc zacienionych i okresowe zmniejszanie wysiłku fizycznego.
$+26$ do $+32$	Umiarkowany stres ciepła	Niezbędne uzupełnianie płynów $0,25$ l/godz.
$+9$ do $+26$	Brak obciążeń cieplnych	Fizjologiczne procesy termoregulacji są wystarczające do zachowania komfortu cieplnego.
0 do $+9$	Łagodny stres zimna	Pożądane używanie rękawiczek i nakrycia głowy.
-13 do 0	Umiarkowany stres zimna	Należy zwiększyć wysiłek fizyczny oraz chronić kończyny i twarz przed wychłodzeniem.
-27 do -13	Silny stres zimna	Należy zwiększyć wysiłek fizyczny oraz chronić kończyny i twarz przed wychłodzeniem. Pożądane zwiększenie termoizolacyjności odzieży.
-40 do -27	Bardzo silny stres zimna	Należy zwiększyć wysiłek fizyczny oraz chronić kończyny i twarz przed wychłodzeniem. Niezbędne zwiększenie termoizolacyjności odzieży i ograniczenie czasu przebywania w terenie otwartym.
poniżej -40	Nieznosny stres zimna	Czas przebywania ograniczyć do niezbędnego minimum. Niezbędne zwiększenie termoizolacyjności i wiatrochronności odzieży.

Charakterystyki warunków cyrkulacyjnych podczas wystąpienia termicznych dni charakterystycznych oraz dni z obciążeniami cieplnymi organizmu dokonano na podstawie klasyfikacji Hessa-Brezowsky'ego, opracowanej przez

Gerstengarbego i Wenera (2010) dla Europy Środkowej. Klasyfikacja ta, oparta na pojęciu Grosswetterlagen (GWL), obejmuje 30 typów cyrkulacji, które uwzględniają kierunek napływu mas powietrza (GWT) oraz położenie układów barycznych (tab. 2). Zapisy dotyczące charakteru cyrkulacji atmosferycznej kształtującej warunki pogodowe w Łebie zostały pozyskane z baz danych Instytutu Badań nad Wpływem Klimatu w Poczdamie oraz zasobów Deutscher Wetterdienst.

Tabela 2. Klasyfikacja Grosswettertypen (GWT) i Grosswetterlagen (GWL) (Gerstengarbe, Werner, 1993; Werner, Gerstengarbe, 2010)

Grosswettertype (GWT) Ogólny kierunek cyrkulacji	Symbol	Grosswetterlage (GWL) Typ cyrkulacji
West Zachodnia	WA	West Circulation, anticyclonal / zachodnia, antycyklonalna
	WS	West Circulation, cyclonal / zachodnia, cyklonalna
	WZ	Southern West Circulation / zachodnia przesunięta ku południowi
	WW	Agled West Circulation / zachodnia, brzeżna na skraju blokującego wyżu rosyjskiego
Southwest Południowo-zachodnia	SWA	Southwest Circulation, anticyclonal / południowo-zachodnia, antycyklonalna
	SWZ	Southwest Circulation, cyclonal / południowo-zachodnia, cyklonalna
Northwest Północno-zachodnia	NWA	Northwest Circulation, anticyclonal / północno-zachodnia, antycyklonalna
	NWZ	Northwest Circulation, cyclonal / północno-zachodnia, cyklonalna
Central Europe High Centralna Wyżowa	HM	Central European High / wyż nad Europą Środkową
	BM	Central European Ridge / klin wyżowy nad Europą Środkową
Central Europe Low Centralna Nizowa	TM	Central European Low / niż nad Europą Środkową
North Północna	NA	North Circulation, anticyclonal / północna, antycyklonalna
	NZ	North Circulation, cyclonal / północna, cyklonalna
	HNA	Norwegian Sea High, anticyclonal / wyż nad Morzem Północnym – Islandią, antycyklonalna
	HNZ	Norwegian Sea High, cyclonal / wyż nad Morzem Północnym – Islandią, cyklonalna
	HB	British Isles High / wyż nad Wyspami Brytyjskimi
	TRM	Central Europe Trough / bruzda nad Europą Środkową

Grosswettertype (GWT) Ogólny kierunek cyrkulacji	Symbol	Grosswetterlage (GWL) Typ cyrkulacji
Northeast Północno- wschodnia	NEA	Northeast Circulation, anticyclonal / północno- -wschodnia, antycyklonalna
	NEZ	Northeast Circulation, cyclonal / północno-wschod- nia, cyklonalna
East Wschodnia	HFA	Fennoscandian High, anticyclonal / wyż nad Fenno- skandią, antycyklonalna
	HFZ	Fennoscandian High, cyclonal / wyż nad Fennoskan- dią, cyklonalna
	HNFA	Norwegian Sea/Fennoscandia High, anticyclonal / wyż nad Morzem Północnym/Fennoskandią, antycy- klonalna
	HNFZ	Norwegian Sea/Fennoscandia High, cyclonal / wyż nad Morzem Północnym/Fennoskandią, cyklonalna
Southeast Południowo- wschodnia	SEA	Southeast Circulation, anticyclonal / południowo- -wschodnia, antycyklonalna
	SEZ	Southeast Circulation, cyclonal / południowo- -wschodnia, cyklonalna
South Południowa	SA	South Circulation, anticyclonal / południowa, antycy- klonalna
	SZ	South Circulation, cyclonal / południowa, cyklonalna
	TB	British Isles Low / niż nad Wyspami Brytyjskimi
	TRW	Western Europe Trough / bruzda nad Europą Za- chodnią
	U	Undefined / sytuacja nieokreślona lub przejściowa

Rezultaty

Termiczne dni charakterystyczne

Cechy klimatu oceanicznego, w zasięgu którego położona jest Łeba, zaznaczają się w częstości występowania poszczególnych dni charakterystycznych. Specyficzny dla miejscowości pasa pobraża Bałtyku rozkład czasowy ich występowania oraz niewielki udział dni ze skrajnymi wartościami temperatury powietrza wskazują wyraźny wpływ Morza Bałtyckiego na kształtowanie klimatu regionu. Cechy wysokiego wskaźnika oceanizmu przejawiają się m.in. w stosunkowo chłodnych latach oraz łagodnych zimach. Jednym z jego elementów jest niska amplituda roczna temperatury powietrza, która w pasie pobraża wynosi około 17°C (Tomczyk, 2022).

W badanym wieloleciu dni upalne występowały wyłącznie od maja do września, z największą częstością w lipcu, sięgającą 2,5% (tab. 3). Dni gorące notowano

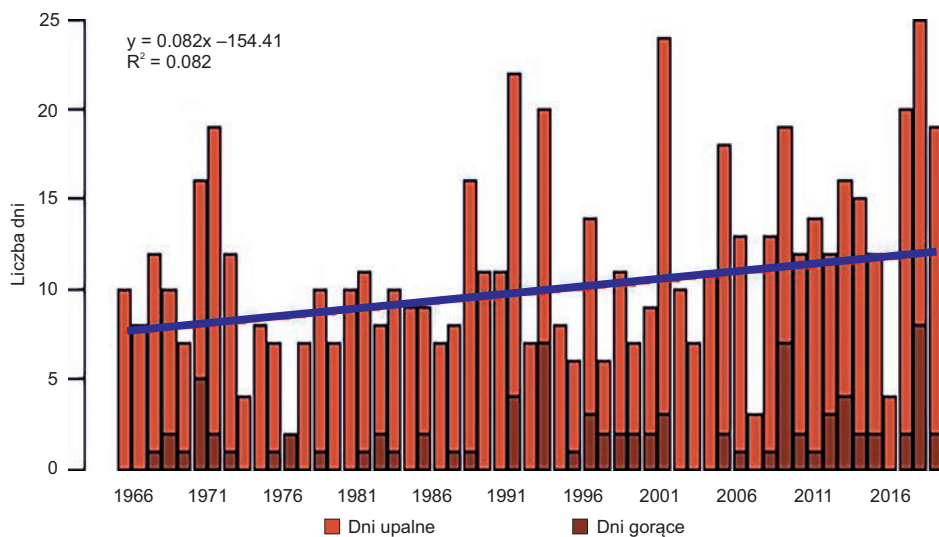
także w kwietniu oraz październiku, lecz ich częstość była wyraźnie zróżnicowana. Dni gorące występowały częściej wiosną niż jesienią, szczególnie w kwietniu w porównaniu do października oraz w maju względem września. Największy ich udział przypadł natomiast na sierpień. Zróżnicowanie czasowe i ilościowe uwidocznione jest także w częstości występowania dni mroźnych. Najwięcej ich przypadało na styczeń, mniej na luty, natomiast marzec oraz grudzień cechowały się niższą wartością. Dni mroźne odnotowywane były wyłącznie od listopada, przy czym ich liczba w tym miesiącu pozostawała niewielka. Dni bardzo mroźne występowały sporadycznie i miały marginalny udział w skali roku – przeważnie nie były notowane, a większość wystąpiła w styczniu.

Tabela 3. Częstość (%) występowania wybranych termicznych dni charakterystycznych w Łebie w latach 1966–2020

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I–XII
upalny	–	–	–	–	0,2	1,3	2,5	1,4	0,2	–	–	–	0,5
gorący	–	–	–	1,4	5,3	8,1	11,3	12,6	3,2	0,1	–	–	3,5
mroźny	29,0	23,8	6,4	–	–	–	–	–	–	–	3,2	6,0	5,6
bardzo mroźny	0,5	0,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,2	0,07

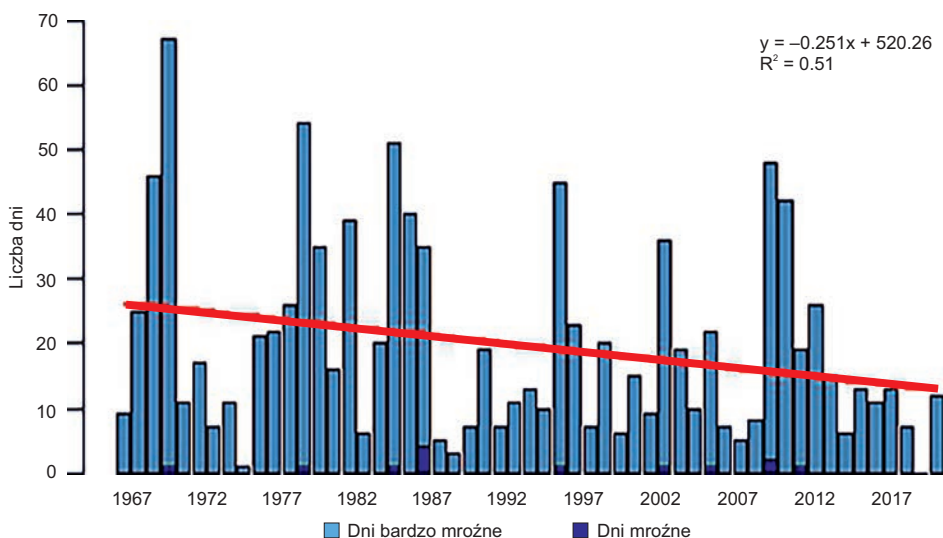
W analizowanym wieloleciu w sezonie letnim występowało przeważnie 10 dni gorących. Dwukrotnie powyżej średniej, a jednocześnie najwięcej przypadków odnotowano w 2002 roku, tj. 21 dni (ryc. 2). Dnia gorącego nie odnotowano natomiast w 1977 roku. 7 sezonów z najwyższą liczbą dni gorących wystąpiło w ostatniej analizowanej dekadzie. Natomiast większość sezonów, w których stwierdzono więcej niż 10 dni gorących, przypadała na ostatnie dwudziestolecie. Dziesięcioletni epizod z utrzymującą się, zbliżoną do **średniej**, liczbą dni gorących wystąpił między 2006 a 2015 rokiem. Ostatnie trzy lata (2018–2020) wyróżniały się szczególnie wysoką liczbą dni gorących, których liczba wahała się od 17 do 18. Liczbę dni gorących wyraźnie powyżej średniej odnotowano także w 1992 oraz 1972 roku – 18 oraz 17 dni.

W sezonie letnim występowały najczęściej 2 dni upalne i tyle samo wynosiła średnia wieloletnia (ryc. 2). Największą ich liczbę odnotowano w 2019 (8 dni), a następnie w 1994 i 2010 roku (7 dni). W ciągu 55 lat obserwacji w czasie 18 sezonów dzień upalny nie wystąpił. Analiza poszczególnych dekad wykazała wzrost częstości występowania dni upalnych, szczególnie wyraźny w ostatnich 30 latach obserwacji. Ostatnia analizowana dekada cechowała się największą liczbą przypadków, wynoszącą 26 dni. Niewiele mniej – 21 dni – zanotowano w latach 1991–2000, a w kolejnym dziesięcioleciu – 16 dni. Najmniej dni upalnych wystąpiło w latach 1981–1990, a ich łączna liczba wyniosła 7. W ujęciu całego badanego okresu zaobserwowano istotny statystycznie trend rosnący liczby dni upalnych i gorących, wynoszący 0,8 dnia na dekadę.



Ryc. 2. Liczba dni gorących i upalnych w sezonie letnim w Łębie w latach 1966–2020

W sezonie zimowym w latach 1967–2021 odnotowano łącznie 1065 dni mroźnych (ryc. 3). W sezonie notowano przeciętnie 19 dni mroźnych, a dni bardzo mroźne występowały sporadycznie – w większości lat takich dni nie odnotowano. Wzrost liczby dni mroźnych występował cyklicznie, prowadząc do kilkuletnich okresów z wyraźnie większą liczbą takich przypadków. Epizody znacznie chłodniejszych zim w pierwszej połowie okresu badań trwały od dwóch do trzech lat, w jej drugiej połowie ich częstość ograniczyła się natomiast do dwóch



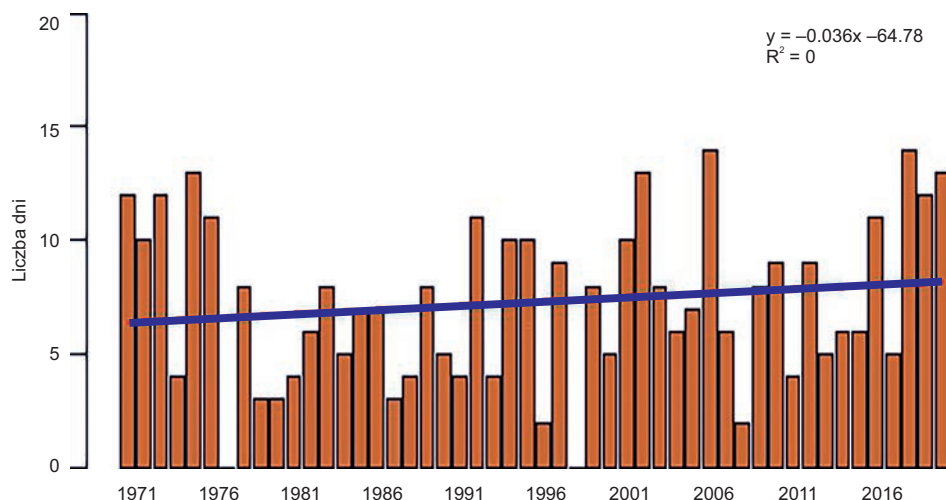
Ryc. 3. Liczba dni mroźnych oraz bardzo mroźnych w sezonie zimowym w Łębie w latach 1967–2021

pojedynczych sezonów oraz jednego dwuletniego. Tendencja zmian widoczna była również w analizie najwyższej sezonowej liczby dni mroźnych każdego epizodu. Najwięcej dni mroźnych odnotowano podczas zimy 1969/1970 roku, a ich liczba sięgała 66, podczas gdy w ostatnim chłodniejszym okresie, mającym miejsce w sezonie 2009/2010, najwyższa liczba wyniosła 46 dni. W trakcie cyklicznego wzrostu liczby dni mroźnych sezon o największej liczbie przypadków wypadł średnio co 7 lat. Od ostatniego epizodu, zaobserwowanego w latach 2010 i 2011 do końca okresu badań liczba dni mroźnych w sezonie nie przekroczyła 26 dni. Ponadto zima 2019/2020 była jedyną, podczas której dzień mroźny nie wystąpił.

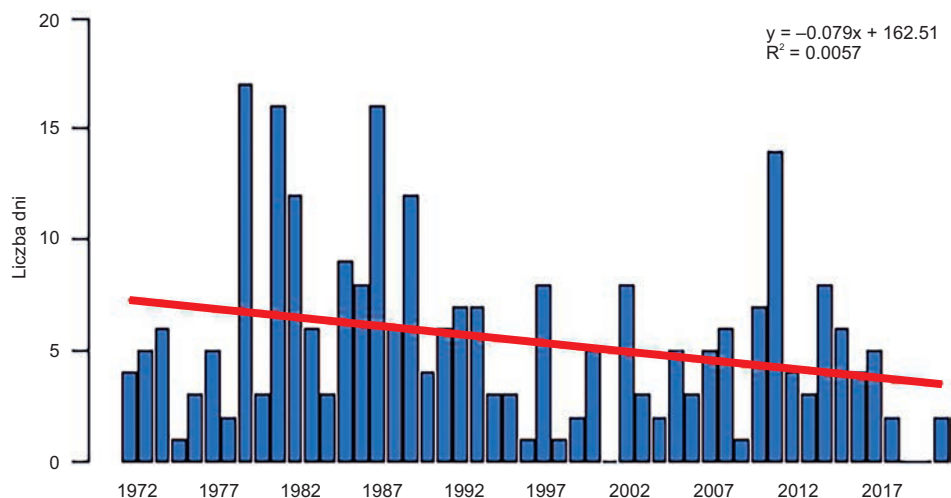
Dni bardzo mroźne odnotowano wyłącznie podczas dziewięciu spośród analizowanych zim, a ich łączna suma w wieloleciu wynosiła 13 dni (ryc. 3). Najwięcej dni bardzo mroźnych, wielkości 4 dni, zanotowano w sezonie 1986/1987. Dwa dni bardzo mroźne zanotowano w sezonie 2009/2010, a w pozostałych siedmiu sezonach był to jeden dzień. Nie odnotowano istotnych statystycznie zmian liczby dni mroźnych i bardzo mroźnych.

Obciążenia cieplne człowieka

Dni ze skrajnymi obciążeniami cieplnymi, w tym umiarkowanym stresem ciepła, występowały w Łebie stosunkowo rzadko za sprawą lokalnych warunków klimatycznych. Położenie w bliskim sąsiedztwie Morza Bałtyckiego, łagodzącego warunki termiczne oraz kształtującego warunki anemologiczne, ogranicza wystąpienie ekstremów termicznych. Średnia liczba dni z umiarkowanym stresem ciepła latem wynosiła 7. Największe sezonowe sumy dni, dwukrotnie przewyższające wartości średnie, zanotowano w latach 2006 oraz 2018. W czasie wielolecia wystąpiły dwa sezony, w czasie których nie wystąpiło obciążenie umiarkowanym stresem ciepła. Zaobserwowano również dwa okresy o utrzymującej się z roku



Ryc. 4. Liczba dni z umiarkowanym stresem ciepła w sezonie letnim w Łebie w latach 1971–2020



Ryc. 5. Liczba dni z bardzo silnym stresem zimna w sezonie zimowym w Łębie w latach 1972–2021

na rok dużej liczbie przypadków. Pierwszy, trwający od początku okresu badań, rozdzielony chłodniejszym rokiem 1974, trwał do 1976 roku. Drugi trwał przez ostatnie trzy lata badań, a liczba dni z umiarkowanym stresem zimna wynosiła wówczas od 12 do 14. Liczba dni z umiarkowanym stresem ciepła wzrastała w czasie o 0,4 dnia na 10 lat, jednak tendencja ta nie była statystycznie istotna.

W analizowanym wieloleciu zaznaczył się ponaddziesięcioletni okres z sezonową liczbą dni z bardzo silnym stresem zimna w Łębie wyraźnie powyżej średniej wieloletniej, wynoszącej 5 dni (ryc. 5). W tym okresie, obejmującym sezony 1979–1989, odnotowano trzy sezony z największą liczbą przypadków. Najwięcej dni stwierdzono zimą 1978/1979 (17). Jeden dzień mniej wystąpił w sezonach 1980/1981 oraz 1986/1987. Kolejną dużą liczbę dni zanotowano zimą 2010/2011, podczas której odnotowano 14 przypadków bardzo silnego stresu zimna. Po roku 2000 wystąpiły trzy sezony bez wystąpienia bardzo silnego stresu zimna – 2000/2001, 2018/2019 oraz 2019/2020. Zaobserwowano malejącą, lecz nieistotną z poziomu istotności statystycznej, trend liczby dni z bardzo silnym stresem zimna wielkości 0,8 dnia/10 lat.

Cyrkulacyjne uwarunkowania

Dni gorące w sezonie letnim (VI–VIII) występowały najczęściej w czasie pojawienia się klina wyżowego nad Europą Środkową (BM), stanowiąc 16,1% udziału (tab. 4). Do innych częstych typów sytuacji synoptycznych powodujących występowanie dni gorących należała cyrkulacja południowo-zachodnia cyklonalna (SWZ) – 10,4%, bruzda nad Europą Zachodnią (TRW) – 9,5% oraz cyrkulacja zachodnia przesunięta ku południowi (WZ) – 8%. Dwukrotnie mniej przypadków zanotowano podczas cyrkulacji: zachodniej, antycyklonalnej (WA) – 5,8%; południowo-zachodniej, antycyklonalnej (SWA) – 5,4%; wyżu nad Europą Środkową

(HM) – 4,5%; niżej nad Europą Środkową (TM) – 4,1%; wyżej nad Fennoskandią, antycyklonalną (HFA) – 4,3%; wyżej nad Fennoskandią, cyklonalną (HFZ) – 5,8%; niżej nad Wyspami Brytyjskimi (TB) – 4,8%. Dni gorące nie wystąpiły natomiast w czasie cyrkulacji północnej (NA, NZ) i północno-zachodniej (NWA, NWZ).

Dni upalne występowały najczęściej w tych samych warunkach synoptycznych, co dni gorące (tab. 4). Najwięcej odnotowano podczas wystąpienia bruzdy nad Europą Zachodnią (TRW) – 24,1%, klina wyżowego nad Europą Środkową (BM) – 17,2% oraz cyrkulacji południowo-zachodniej cyklonalnej (SWZ) – 14,9%. 5,7% udziału miały dni upalne w trakcie zalegania wyżu nad Morzem Północnym bądź Fennoskandią (HNFZ) oraz tyle samo w czasie zalegania niżej nad Wyspami Brytyjskimi (TB). W analizowanym wieloleciu w Łebie dni upalne w sezonie letnim nie wystąpiły w czasie cyrkulacji zachodniej cyklonalnej (WS) i brzeżnej na skraju blokującego wyżu rosyjskiego (WW), północnej (NA, NZ) i północno-zachodniej (NWA, NWZ), w sytuacji pojawienia się bruzdy nad Europą Środkową (TRM), antycyklonalnej podczas zalegania wyżu nad Fennoskandią (HFA) czy nad Morzem Północnym/Fennoskandią (HNFA).

Dni mroźne stwierdzono w każdym typie cyrkulacji, z czego najczęściej w trakcie zalegania klina wyżowego nad Europą Środkową (BM) – 12,0% (tab. 4). Drugą najczęstszą sytuacją synoptyczną powodującą wystąpienie dni mroźnych była cyrkulacja antycyklonalna: południowo-wschodnia (SEA) – 7,5% oraz zachodnia (WS) – 6,1%. Podobną liczbę dni mroźnych odnotowano w czasie bruzdy nad Europą Środkową (TRM) – 6,1% oraz wyżu nad Morzem Północnym/Fennoskandią (HNFZ) – 6,3%. Najrzadziej dni mroźne występowały podczas cyrkulacji antycyklonalnej zachodniej (WA), północno-zachodniej (NWA) i północnej (NA).

Dni bardzo mroźne wystąpiły wyłącznie w 7 typach cyrkulacji, najczęściej przy typie cyrkulacji cyklonalnej, gdy wyż znajdował się nad Morzem Północnym bądź Fennoskandią (HNFZ) – 30,8% (4 dni) (tab. 4). Dwukrotnie mniej przypadków (15,4 %) wystąpienia dni bardzo mroźnych odnotowano w czasie zalegania klina wyżowego nad Europą Środkową, podczas cyrkulacji zachodniej cyklonalnej (WS) oraz wystąpienia bruzdy nad Europą Środkową (TRM). Jeden dzień bardzo mroźny (7,1%) stwierdzono w trakcie cyrkulacji południowo-wschodniej cyklonalnej oraz tyle samo podczas zalegania wyżu nad Europą Środkową, Morzem Północnym/Islandią oraz Wyspami Brytyjskimi.

Wystąpienie dni z umiarkowanym stresem ciepła uwarunkowane było najczęściej klinem wyżowym nad Europą Środkową (BM), co odpowiadało 17,9% powstałych sytuacji. Dwukrotnie mniejszy udział – 9,3 (SWZ) oraz 9,6% (TRW) – przypadał cyrkulacji południowo-zachodniej cyklonalnej oraz powstaniu bruzdy nad Europą Zachodnią. Umiarkowany stres ciepła nie wystąpił natomiast, bądź odnotowano po jednym przypadku, podczas cyrkulacji północnej (NA, NZ) oraz północno-zachodniej (NWA, NWZ) i w trakcie zalegania wyżu nad Wyspami Brytyjskimi (HB).

Dni z bardzo silnym stresem zimna w sezonie zimowym wystąpiły w prawie wszystkich typach cyrkulacji (wyjątek stanowi północno- i południowo-wschodnia cyrkulacja antycyklonalna oraz pojawienie się bruzdy nad Europą Zachodnią), z czego najczęściej przy typie cyrkulacji zachodniej przesuniętej ku południowi

(WZ) – 20,4% (tab. 4). Niemal dwukrotnie mniej przypadków – 11,5% – odnotowano w czasie cyrkulacji północno-zachodniej cyklonalnej (NWZ) i zachodniej antycyklonalnej (WA). Dni z bardzo silnym stresem zimna w mniejszym stopniu uwarunkowane były wystąpieniem klina wyżowego nad Europą Środkową (BM) – 8,6%, a także cyrkulacją zachodnią cyklonalną – 5,9%.

Tabela 4. Częstość występowania poszczególnych termicznych dni charakterystycznych oraz dni z obciążeniami cieplnymi człowieka w poszczególnych typach cyrkulacji Groszwetterlagen (GWL) w Łebie

Typ cyrkulacji (GWL)	Dni gorące [%]	Dni upalne [%]	Dni mroź- ne [%]	Dni bardzo mroźne [%]	Dni z umiar- kowa- nym stresem ciepła [%]	Dni z bar- dzo silnym stresem zimna [%]
WA	5,8	3,4	0,5	0,0	3,0	11,5
WS	0,0	0,0	6,1	0,0	0,0	5,9
WZ	8,0	3,4	4,7	0,0	5,8	20,4
WW	4,3	0,0	5,9	0,0	2,7	1,9
SWA	5,4	2,3	1,2	0,0	3,8	0,0
SWZ	10,4	14,9	2,5	0,0	9,3	2,2
NWA	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	1,5
NWZ	0,0	0,0	3,8	0,0	0,3	11,5
HM	4,5	3,4	3,5	7,7	6,6	4,8
BM	16,1	17,2	12,0	15,4	17,9	8,6
TM	4,1	1,1	2,1	0,0	3,3	0,7
NA	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	1,1
NZ	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	4,1
HNA	0,6	0,0	3,2	0,0	1,1	3,0
HNZ	0,6	2,3	2,9	0,0	1,1	0,7
HB	0,0	1,1	1,4	7,7	0,3	1,1
TRM	3,5	0,0	6,1	15,4	3,0	3,0
NEA	0,4	1,1	0,8	0,0	1,9	0,0
NEZ	0,9	1,1	0,7	0,0	1,9	0,4
HFA	4,3	0,0	5,4	0,0	6,3	2,2
HFZ	5,8	1,1	4,9	0,0	4,7	2,6
HNFA	2,4	0,0	1,3	0,0	2,7	0,4
HNFZ	1,7	0,0	6,3	30,8	1,9	4,8
SEA	2,2	5,7	7,5	0,0	2,7	2,2
SEZ	0,7	0,0	3,0	0,0	0,5	1,1
SA	1,7	3,4	1,6	0,0	2,2	0,7
SZ	2,2	2,3	2,0	0,0	2,2	1,1
TB	4,8	5,7	1,7	0,0	4,4	0,7
TRW	9,5	24,1	1,1	0,0	9,6	0,0
U	0,4	2,3	1,6	0,0	0,5	1,5

Wyniki i dyskusja

W polskiej literaturze przedmiotu warunki bioklimatyczne panujące w Łebie określone są jako specyficzne (Błażejczyk, Kunert, 2011; Półrolniczak i in., 2016). Niewielka względem kraju liczba termicznych dni charakterystycznych w sezonie letnim – przeciętnie 10 dni gorących oraz 2 dni upalne – wskazuje na rzadkie występowanie skrajnie wysokiej temperatury. Występowanie skrajnie niskiej temperatury powietrza jest rzadkością, o czym świadczy marginalny udział dni bardzo mroźnych w ciągu roku, wynoszący 0,07%. Spośród analizowanych termicznych dni charakterystycznych jedynymi, dla których odnotowano statystyczny wzrost liczby przypadków, były dni gorące i upalne – ze wzrostem na poziomie 0,8 dnia na dekadę. Temperatura powietrza nie jest jednakże jedynym czynnikiem wpływającym na zdrowie i samopoczucie człowieka. Specyfikę warunków bioklimatycznych panujących w Łebie ukazuje częstość występowania wybranych dni z obciążeniami termicznymi człowieka – dni z bardzo silnym stresem zimna oraz dni z umiarkowanym stresem ciepła, których przeciętna liczba w sezonie wynosiła średnio 5 oraz 7 dni. Występowanie termicznych dni charakterystycznych w sezonie letnim oraz dni z umiarkowanym stresem ciepła wiązało się przede wszystkim z antycyklonalnymi typami cyrkulacji o charakterze wyżu lub klina wyżowego, które sprzyjały adwekcji ciepłego powietrza zwrotnikowego lub kontynentalnego. W przypadku dni mroźnych i bardzo mroźnych oraz dni z bardzo silnym stresem zimna w sezonie zimowym dominowały odmienne typy cyrkulacji. Dni z bardzo silnym stresem zimna występowały przy prawie wszystkich typach cyrkulacji (wyjątek stanowi TRW), z czego najczęściej przy typie cyrkulacji zachodniej przesuniętej ku południowi. Zależność ta wynikała z wysokiej wilgotności powietrza oraz dużych prędkości wiatru notowanych podczas cyrkulacji zachodniej, zwiększających obciążenie cieplne organizmu. Dni mroźne oraz bardzo mroźne odnotowano w znacznej liczbie w trakcie wystąpienia klina wysokiego ciśnienia nad Europą Środkową, powodującego napływ chłodnego powietrza kontynentalnego z sektora północno-wschodniego lub wschodniego.

Cyrkulacja atmosferyczna stanowi czynnik determinujący występowanie skrajnych warunków termicznych oraz obciążeń cieplnych człowieka. Znaczenie cyrkulacji atmosferycznej dla pojawiania się fal upałów i chłodu wykazali w swoich badaniach Tomczyk i in. (2019), podkreślając kluczową rolę struktur blokadowych. Analogiczne rezultaty otrzymali Bednorz i Tomczyk (2025), przeprowadzając pogłębioną analizę zagadnienia struktur blokadowych i ich wpływu na występowanie fal upałów i chłodu w Polsce. Rolę cyrkulacji antycyklonalnej w czasie fal chłodu w Poznaniu podkreślili także Tomczyk i in. (2024). Autorzy określili kierunki napływu mas powietrza podczas fal chłodu, wskazując na dominację powietrza arktycznego oraz polarnego kontynentalnego, napływającego z sektora wschodniego i północno-wschodniego. Tomczyk (2014), dokonując wnikliwej analizy fal upałów w Poznaniu, wymienił napływ powietrza polarnego morskiego, zwrotnikowego lub polarnego kontynentalnego jako istotny czynnik sprzyjający występowaniu wysokich wartości temperatury powietrza. Istotność cyrkulacji antycyklonalnej w trakcie dni upalnych potwierdziły badania Tomczyka

i Bednorz (2014) nad występowaniem fal upałów na południowym wybrzeżu Bałtyku. Autorzy wykazali, że ich pojawianie się związane było z obecnością klina wysokiego ciśnienia rozciągającego się nad Europą, w którego obrębie tworzył się lokalny układ wyżowy z centrum nad Morzem Bałtyckim. Taka sytuacja baryczna, opisana również w badaniach Owczarek (2019), oddziaływała na częstość występowania stresu ciepła. Sprzyjała napływowi ciepłych i suchych mas powietrza kontynentalnego z północnego wschodu w dolnej troposferze, a jednocześnie adwekcji powietrza zwrotnikowego z południowego zachodu w wyższych warstwach. W okresie chłodnym wspomniany układ ciśnienia nad Europą powodował natomiast adwekcję chłodnego powietrza ze wschodu, prowadząc do wystąpienia dni mroźnych, bardzo mroźnych czy bardzo silnego stresu zimna (Półrolniczak i in., 2016; Kolendowicz i in., 2018). Rola układów wyżowych i klina wysokiego ciśnienia była również widoczna w analizach występowania silnego i bardzo silnego stresu ciepła w Polsce przeprowadzonych przez Owczarek i in. (2019) oraz Tomczyka i Owczarek (2020). Zgodność z nimi wykazały pokrewne badania Półrolniczaka i in. (2016) oraz Kolendowicza i in. (2018), ograniczone do obszaru polskiego wybrzeża Bałtyku.

Rezultaty badań potwierdzają postępujące zmiany warunków klimatycznych i bioklimatycznych w Łebie, szczególnie widoczne w rosnącej liczbie dni upalnych i gorących. Rozpoznanie kierunku oraz tempa przemian i uwarunkowań występowania zjawisk ekstremalnych ma istotne znaczenie nie tylko w kontekście rozpoznania lokalnych warunków biotermicznych, lecz także w szerszym ujęciu zmian klimatycznych i ich skutków dla zdrowia publicznego oraz gospodarki turystycznej. Podjęta tematyka skłania do dalszych badań, szczególnie w zakresie prognozowania częstości i intensywności zjawisk ekstremalnych w warunkach zmieniającego się klimatu.

Literatura

- Bednorz E., Tomczyk A.M., 2025, Impact of Euroatlantic blockings on the occurrence of heat waves and cold spells in Poland, *Theoretical and Applied Climatology*, 156, <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05253-6>
- Błażejczyk A., Baranowski J., 2021, Wpływ zmian klimatu na zmiany zachorowań i zgonów na choroby klimatozależne w Polsce w XXI wieku, *Kosmos*, 70(4): 597–610, https://doi.org/10.36921/kos.2022_2839
- Błażejczyk K., Kunert A., 2011, *Bioklimatyczne uwarunkowania rekreacji i turystyki*, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Błażejczyk K., Błażejczyk A., Baranowski J., Kuchcik M., 2020, Assessment of mortality risk in Poland due to cold and heatstress and predictions to 2100, *Climate Change Research*, 1(4): 67–75, <https://doi.org/10.30488/CCR.2020.252534.1028>
- Błażejczyk K., Broede P., Fiala D., Havenith G., Jendritzky G., Kampmann B., 2010, UTCI – nowy wskaźnik oceny obciążeń cieplnych człowieka, *Przegląd Geograficzny*, 82(1): 49–71, <https://doi.org/10.7163/PrzG.2010.1.2>
- Feulner G., 2017, *Global Challenges: Climate Change*, *Global Challenges*, 1(1): 5–6, <https://doi.org/10.1002/gch2.1003>

- Gerstengarbe F.W., Werner P.C., 1993, Katalog der Großwetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky 1881–1992, Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 113 Graczyk D., Pińskwar I., Kundzewicz Z.W., Hov Ø., Førland E.J., Szwed M., Choryński A., 2017. The heat goes on – changes in indices of hot extremes in Poland. *Theoretical and Applied Climatology*, 129: 459–471, <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1786-x>
- IPCC, 2023, Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth, IPCC, Genewa, <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Kolendowicz L., Czernecki B., Półrolniczak M., Taszarek M., Tomczyk A.M., Szyga-Pluta 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, <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2560-z>
- Kolendowicz L., Półrolniczak M., Szyga-Pluta K., Bednorz E., 2018, Human-biometeorological conditions in the southern Baltic coast based on the universal thermal climate index (UTCI), *Theoretical and Applied Climatology*, 134: 363–379, <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2279-2>
- Kossowska-Cezak U., 2014, Zmiany wieloletnie liczby termicznych dni charakterystycznych w Warszawie (1951–2010), *Prace Geograficzne*, 9–30, <https://doi.org/10.4467/20833113PG.14.001.1639> Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F., 2006, World Map of the Köppen-Geiger climate classification, *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3): 259–263.
- Koźmiński C., Michalska B., 2008, Zmienność minimalnej dobowej temperatury powietrza w strefie polskiego wybrzeża Bałtyku, *Acta Agrophysica*, 12(3): 713–736.
- Koźmiński C., Michalska B., 2010, Zmienność liczby dni gorących i upalnych oraz odczuć cieplnych w strefie polskiego wybrzeża Bałtyku, *Acta Agrophysica*, 347–357.
- Koźmiński C., Michalska B., 2011, Zmienność liczby dni zimnych, chłodnych, ciepłych, gorących i upalnych w Polsce w okresie kwiecień–wrzesień, *Przegląd Geograficzny*, 91–107.
- Koźmiński C., Michalska B., 2019, Ocena bioklimatycznych warunków rekreacji i turystyki w strefie polskiego Wybrzeża Bałtyku na podstawie wskaźnika UTCI, *Przegląd Geograficzny*, 91(2): 113–126.
- Kuchcik M., 2021, Mortality and thermal environment (UTCI) in Poland – long-term, multi-city study, *International Journal of Biometeorology*, 65: 1529–1541, <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01995-w>
- Marosz M., Miętus M., Biernacik D., 2023, Features of Multiannual Air Temperature Variability in Poland (1951–2021), *Atmosphere*, 14(282), <https://doi.org/10.3390/atmos14020282>
- Marsz A.A., Styszyńska A., 2019, Skala i przyczyny zmian temperatury najcieplejszych miesięcy roku nad obszarem Polski po roku 1988, [w:] L. Chojnacka-Ożga, H. Lorenc (red.), *Współczesne problemy klimatu Polski*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa, s. 9–26.
- Mąkosza A., Koźmiński C., Michalska B., 2015, Potencjał bioklimatyczny polskiego wybrzeża Bałtyku w letnim sezonie turystycznym, *Europa Regionum*, 23: 55–66.
- Medzińska M., 1991, Charakterystyka wielkości ochładzającej powietrza w profilu Mierzei Łebskiej w okresie letnim 1988, *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, A: 191–204.
- Miętus M., Filipiak J., Owczarek M., 2004, Klimat wybrzeża południowego Bałtyku. Stan obecny i perspektywy zmian, [w:] J. Cyberski (red.), *Środowisko polskiej strefy połu-*

- dniowego Bałtyku: stan obecny i przewidywane zmiany w przededniu integracji europejskiej, Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk, s. 11–44.
- NOAA, 2025, Monthly Global Climate Report for Annual 2023 (<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202313>).
- Owczarek M., 2019, The influence of large-scale factors on the heat load on human beings in Poland in the summer months, *Theoretical and Applied Climatology*, 137: 855–869.
- Owczarek M., Marosz M., Kitowski M., 2019, Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie silnego obciążenia organizmu człowieka stresem ciepła na polskim wybrzeżu Morza Bałtyckiego, [w:] L. Kolendowicz, E. Bednorz, A.M. Tomczyk (red.), *Zmienność klimatu Polski i Europy oraz jej cyrkulacyjne uwarunkowania*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 135–154.
- Półrolniczak M., Szyga-Pluta K., Kolendowicz L., 2016, Bioklimat wybranych miast pasa Pobrzeży Południowobałtyckich na podstawie uniwersalnego wskaźnika obciążenia cieplnego, *Acta Geographica Lodziensia*, 104: 147–161.
- Półrolniczak M., Tomczyk A.M., Bednorz E., 2024, Biometeorological Conditions in Poznań, Poland: Insights from In Situ Summer Data, *Atmosphere*, 15(4), <https://doi.org/10.3390/atmos15040448>
- Staszek W., Kistowski M., Niecikowski K., Wiśniewski P., 2021, Pobrzeże Koszalińskie, [w:] A. Richling, J. Solon, A. Macias, J. Balon, J. Borzyszkowski, M. Kistowski (red.), *Regionalna geografia fizyczna Polski*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 86–95.
- Szwed M., Wasielewska K., 2024, Thermal and precipitation variability across four seasons in Poland (1951–2020), *Miscellanea Geographica*, 28(4), <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2023-0041>
- Tomczyk A.M., 2014, Cyrkulacyjne uwarunkowania występowania fal upałów w Poznaniu, *Przegląd Geograficzny*, 86(1), <https://doi.org/10.7163/PrzG.2014.1.3>
- Tomczyk A.M., 2022, Temperatura powietrza, [w:] A.M. Tomczyk, E. Bednorz (red.), *Atlas klimatu Polski*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 40–61.
- Tomczyk A.M., Bednorz E., 2014, Heat and cold waves on the southern coast of the Baltic Sea, *Baltica*, 27(1): 45–54, <https://doi.org/10.5200/baltica.2014.27.05>
- Tomczyk A.M., Bednorz E., 2023, Thermal stress during heat waves and cold spells in Poland, *Weather and Climate Extremes*, 42, <https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100612>.
- Tomczyk A.M., Miś F., Mendel K., Półrolniczak M., Bednorz E., 2024, Cold spells in the city of Poznań and their circulation conditions, *Theoretical and Applied Climatology*, 155: 5647–5667, <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04958-y>
- Tomczyk A.M., Owczarek M., 2020, Occurrence of strong and very strong heat stress in Poland and its circulation conditions, *Theoretical and Applied Climatology*, 139: 893–905, <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02998-3>
- Tomczyk A.M., Piniewski M., Eini M.R., 2025, Past and future changes in maximum air temperature and cold days in winter in Poland, *Acta Geophysica*, <https://doi.org/10.1007/s11600-025-01538-0>
- Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2015, Exceptionally Hot and Cold Summers in Europe (1951–2010), *Acta Geophysica*, 63(1): 275–300, <https://doi.org/10.2478/s11600-014-0261-2>
- Twardosz R., Kossowska-Cezak U., 2016, Exceptionally cold and mild winters in Europe (1951–2010), *Theoretical and Applied Climatology*, 125: 399–411, <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1524-9>
- Tylkowski J., 2017, Tendencje zmian warunków bioklimatycznych oraz dynamika występowania bodźcowych, termicznych zdarzeń pogodowych w polskiej strefie brzegowej Bałtyku, *Journal of Education, Health and Sport*, 7(4): 467–480.

- Wereski S., Krzyżewska A., Dobek M., 2020, Winter UTCI variability in Poland in the 21st century, *Miscellanea Geographica*, 24(3): 128–137.
- Werner P.C., Gerstengarbe F.W., 2010, *Katalog der Grosswetterlagen Europas*, PIK Report (119).
- WHO, 2024, COP29 special report on climate change and health: Health is the argument for climate action, World Health Organization, Geneva.
- Wibig J., Głowacki B., 2002, Trends of minimum and maximum temperature in Poland, *Climate Research*, 20(2): 123–133, <https://doi.org/10.3354/cr020123>
- Wibig J., Podstawczyńska A., Rzepa M., Piotrowski P., 2009, Heatwaves in Poland – frequency, trends and relationships with atmospheric circulation, *Geographia Polonica*, 81(1): 33–46, <https://doi.org/10.7163/GPol.2009.1.3>
- WMO, 2021, *WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019)*, World Meteorological Organization, Geneva.
- Wołoszyn E., 2009, *Meteorologia i klimatologia w zarysie*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- Woś A., 2010, *Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Wójcik R., Miętus M., 2014, Niektóre cechy wieloletniej zmienności temperatury powietrza w Polsce (1951–2010), *Przegląd Geograficzny*, 86(3): 339–364.
- Wypych A., Sulikowska A., Ursnül Z., Czekierda D., 2017, Temporal Variability of Summer Temperature Extremes in Poland, *Atmosphere*, 8(3), <https://doi.org/10.3390/atmos8030051>

Characteristic thermal days and extreme thermal stress in Łeba and their circulation conditions

Abstract: The progressive warming of the climate leads to a range of changes in climatic and bioclimatic conditions. However, global data do not fully reflect the spatial variability in the rate of change at the regional scale, such as along the Polish coast of the Southern Baltic Sea. Therefore, an analysis was conducted to assess bioclimatic conditions and the extent of their changes in the coastal town of **Łeba**, focusing on the occurrence of characteristic thermal days and human thermal stress according to the Universal Thermal Climate Index (UTCI) during the period 1966–2020. Their circulation determinants were analyzed using the Grosswetterlagen (GWL) and Grosswettertypen (GWT) circulation types. The study identified a statistically significant increase in the number of hot and extremely hot days during summer. The occurrence of extreme bioclimatic conditions is most often associated with the presence of central high-pressure circulation, which facilitates the advection of continental air from the northeast sector in winter and tropical air from the southern sector in summer. On the other hand, days with very strong cold stress occur under almost all types of circulation, most frequently with the southern west circulation type.

Keywords: characteristic thermal days, UTCI, atmospheric circulation, Łeba

Sekcja Monitoringu Środowiska Przyrodniczego,
Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

*Dawid Kozar, Magdalena Skowron, Tomasz Ślusarczyk, Kinga Bojkowska,
Natalia Jurkiewicz, Adrian Nolka, Ada Omińska, Konstancja Cichocka*

Wpływ warunków meteorologicznych na liczbę wypadków i kolizji drogowych w Poznaniu w latach 2020–2023

Zarys treści: Artykuł przedstawia zależność między wypadkami i kolizjami drogowymi a panującymi warunkami meteorologicznymi w Poznaniu w latach 2020–2023. W opracowaniu wykorzystano dane meteorologiczne pochodzące z bazy IMGW-PIB oraz informacje o wypadkach i kolizjach drogowych z bazy danych Komendy Miejskiej Policji w Poznaniu. Wykazano, że czynnikiem meteorologicznym o największym wpływie na liczbę wypadków i kolizji drogowych jest temperatura powietrza. Zaobserwowano odmienną tendencję zmian liczby wypadków i kolizji drogowych zależnie od warunków atmosferycznych – pogorszenie pogody prowadziło do wzrostu liczby kolizji, natomiast poprawa pogody sprzyjała zwiększeniu liczby wypadków. Mimo to stwierdzono, że warunki atmosferyczne nie stanowią głównego czynnika determinującego liczbę wypadków i kolizji drogowych w Poznaniu w latach 2020–2023.

Słowa kluczowe: wypadki, pogoda, klimat

Wprowadzenie

Transport drogowy odgrywa kluczową rolę w gospodarce i codziennym życiu społeczeństwa. W XX wieku samochód stał się głównym środkiem transportu, zwłaszcza w krajach rozwiniętych, ale także w państwach rozwijających się. W 1990 roku na świecie było około 450 mln samochodów, a w 2017 roku ich liczba po raz pierwszy przekroczyła miliard (Davis, Boundy, 2020).

Z danych Europejskiego Urzędu Statystycznego (<https://ec.europa.eu/eurostat>) wynika, że państwa Europy Zachodniej na ogół charakteryzują się wyższym wskaźnikiem motoryzacji niż kraje Europy Środkowej i Wschodniej, co znajduje odzwierciedlenie w liczbie samochodów osobowych przypadających na 1000 mieszkańców. Jednak w 2021 roku najwyższy wskaźnik motoryzacji odnotowano w Polsce, tj. 697 samochodów osobowych na 1000 mieszkańców. We wszystkich województwach wartość wskaźnika przekraczała 600, a w województwach mazowieckim, wielkopolskim, lubuskim, dolnośląskim i opolskim wartość ta wynosiła ponad 700 (GUS, 2023). Dane przedstawione przez Eurostat wskazują, że najwyższy średni roczny wzrost wartości wskaźnika motoryzacji spośród wszystkich państw członkowskich UE odnotowała Rumunia – +5,4%. Polska zajmuje w tym zestawieniu drugie miejsce. Od 2001 do 2021 roku liczba samochodów przypadająca na 1000 mieszkańców w Polsce wzrosła średnio o 4,5%. Dla porównania w Niemczech przyrost liczby samochodów wyniósł +0,4%, w Hiszpanii +0,8%, a w Szwecji jedynie +0,3%. W ciągu wspomnianych 21 lat największy wzrost liczby zarejestrowanych pojazdów odnotowano w państwach Europy Środkowej i Wschodniej oraz krajach bałtyckich (Eurostat).

Samochód, mimo swojej mobilności, jest środkiem transportu wiążącym się z najwyższym ryzykiem śmiertelności spośród wszystkich środków transportu. Z raportu WHO w 2021 roku (World Health Organization, 2023) na świecie w wypadkach drogowych zginęło około 1 190 000 osób, co odpowiada 15 ofiarom śmiertelnym na 100 000 mieszkańców. Według danych Komendy Głównej Policji, w 2020 roku na polskich drogach doszło do 23 540 wypadków. W kolejnych latach ich liczba systematycznie spadała, w 2021 roku odnotowano 22 816 wypadków, w 2022 roku 21 322, a w 2023 roku 20 936. Co więcej, z roku na rok maleje liczba ofiar śmiertelnych wypadków drogowych, z 2491 ofiar w 2020 roku do 1893 w 2023 roku (Symon, 2020, 2021, 2022, 2023). Podobny trend obserwuje się w skali europejskiej. Według danych Eurostatu liczba osób zabitych w wypadkach drogowych spadła o 22% w latach 2012–2022.

Prawdopodobieństwo wypadków drogowych jest wypadkową wielu czynników, w tym stanu technicznego dróg i pojazdów, zachowania kierowców oraz warunków meteorologicznych. Ograniczona widoczność spowodowana mgłą lub intensywnymi opadami atmosferycznymi, zlodzenia nawierzchni to tylko niektóre zjawiska, które mogą znacząco wpłynąć na liczbę niebezpiecznych zdarzeń drogowych. Zrozumienie czynników wpływających na niekorzystne warunki pogodowe może pomóc w skuteczniejszym wdrażaniu tymczasowych ograniczeń prędkości i ostrzeżeń dla kierowców (Becker i in., 2022).

Warunki panujące na drogach mają bezpośredni wpływ na zachowanie kierowców. W trudnych warunkach meteorologicznych, tj. związanych z wystąpieniem opadów atmosferycznych czy mgłą, kierowcy często decydują się na obniżenie prędkości i zwiększenie odstępów między pojazdami. Zredukowana widoczność sprawia, że kierowcy koncentrują się w większym stopniu na najbliższym otoczeniu pojazdu, co może prowadzić do błędnej oceny sytuacji na drodze. Dodatkowo śliska nawierzchnia wydłuża drogę hamowania oraz utrudnia kontrolę nad pojazdem. Istotne znaczenie ma również doświadczenie kierowcy. Mniej doświadczeni

użytkownicy dróg są bardziej podatni na błędy objawiające się w zbyt późnym hamowaniu lub gwałtownym manewrowaniu pojazdem (Chakrabarty, Guptab, 2013).

Celem pracy jest zbadanie korelacji między warunkami meteorologicznymi, a liczbą wypadków i kolizji drogowych w Poznaniu w latach 2020–2023. Analiza ma na celu określenie, które czynniki pogodowe w największym stopniu wpływają na bezpieczeństwo ruchu drogowego. Może ona pozwolić na lepsze zrozumienie wpływu poszczególnych warunków meteorologicznych na ryzyko wypadków i kolizji drogowych.

Dane, metody i obszar badań

Dane wykorzystane w analizie pochodzą z bazy danych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej-Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB). Dane zebrano dla lat 2020–2023 oraz poddano szczegółowej analizie statystycznej przy użyciu języka programowania R (R Core Team, 2022). Dane meteorologiczne pochodzące z bazy IMGW-PIB obejmują wartości dobowe dla następujących parametrów: temperatura powietrza (średnia, maksymalna, minimalna), wysokość opadów atmosferycznych, czas występowania mgły i zamglenia oraz wielkość zachmurzenia ogólnego. Informacje dotyczące liczby zdarzeń drogowych uzyskano z bazy danych Komendy Miejskiej Policji w Poznaniu. Dane obejmowały codzienną liczbę wypadków i kolizji, z podziałem na trzy przedziały godzinowe (22:00–06:00, 06:00–14:00 oraz 14:00–22:00). Godziny od 22:00 do 06:00 były zaliczane do dnia następującego po dniu, w którym rozpoczęła się godzina 22:00. Dodatkowo liczba zdarzeń została pogrupowana według poszczególnych ulic w mieście. W celu zbadania zależności między warunkami meteorologicznymi a liczbą zdarzeń drogowych zastosowano współczynnik korelacji r -Pearsona. Metoda ta pozwala na ocenę liniowej zależności pomiędzy zmiennymi, gdzie wartości współczynnika mieszczą się w przedziale $[-1,1]$. Wartość bliska 0 oznacza brak korelacji, natomiast wartości bliskie -1 lub 1 wskazują na silne zależności ujemne bądź dodatnie. Do zbadania korelacji między czynnikami meteorologicznymi a liczbą zdarzeń drogowych usunięto dni charakteryzujące się niższą liczbą kolizji i wypadków. Wykluczono soboty, niedziele, święta stałe, tj. 1 stycznia, 6 stycznia, 1 maja, 3 maja, 15 sierpnia, 1 listopada, 11 listopada, 24–26 grudnia oraz święta ruchome, czyli Wielkanoc i Boże Ciało. W dni robocze liczba

Tabela 1. Średnia liczba wypadków i kolizji drogowych w Poznaniu w latach 2020–2023

Table 1. The average number of road accidents and collisions in Poznań in the years 2020–2023

Dzień tygodnia	Wypadki	Kolizje
Poniedziałek	1,68	21,04
Wtorek	1,68	20,57
Środa	1,65	21,02
Czwartek	1,68	21,66
Piątek	1,85	21,84
Sobota	1,03	15,34
Niedziela	0,87	10,33

Źródło: opracowanie własne na podst. danych KMP w Poznaniu.

wypadków i kolizji jest zbliżona i wynosi średnio 1,65–1,85 wypadków dziennie i 20,57–21,84 kolizji dziennie (tab. 1).

Środowisko programistyczne dla języka R posłużyło do przeprowadzenia analiz statystycznych i wykonania wizualizacji. W opracowaniu kluczowym pakietem była biblioteka *climate* (Czernecki i in., 2020). Posłużyła ona do pobrania danych meteorologicznych z IMGW-PIB. Ponadto w opracowaniu użyto również pakietów ze środowiska *tidyverse* (Wickham i in., 2019).

Analiza obejmowała także sezonowe różnice w liczbie zdarzeń drogowych oraz ich rozkład w poszczególnych miesiącach i dniach tygodnia. Dodatkowo zwrócono uwagę na ekstremalne przypadki dni o najwyższej liczbie kolizji i wypadków w celu identyfikacji warunków meteorologicznych sprzyjających wzrostowi liczby zdarzeń drogowych. Przedstawione metody pozwoliły na uzyskanie kompleksowej analizy wpływu czynników meteorologicznych na bezpieczeństwo ruchu drogowego w Poznaniu w latach 2020–2023.

Współczynniki korelacji wyliczono w ujęciu sezonowym według meteorologicznych pór roku.

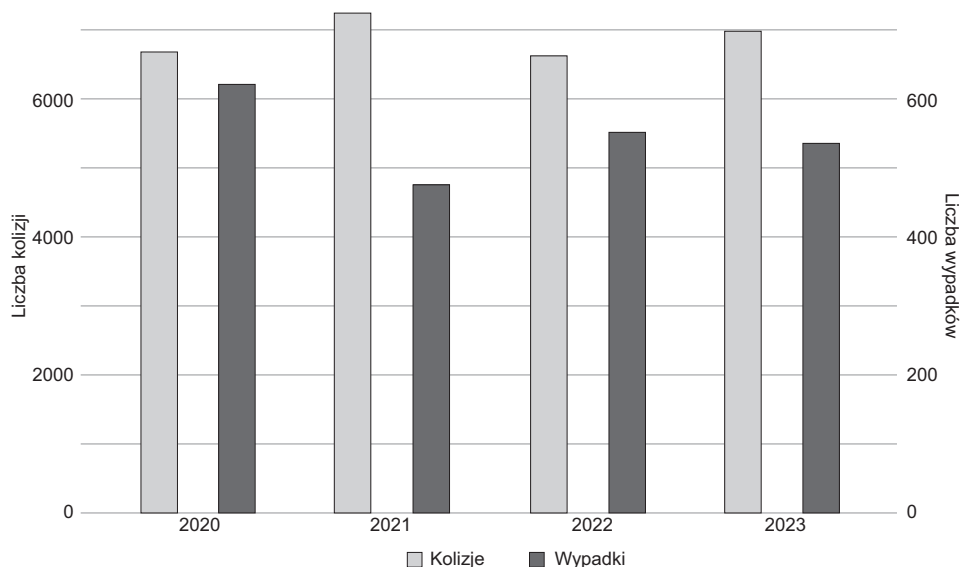
Wyniki

W latach 2020–2023 w Poznaniu odnotowano 37 039 niebezpiecznych sytuacji drogowych z udziałem pieszych, rowerzystów oraz kierowców. Najczęściej występującymi na drogach sytuacjami są stłuczki. W ciągu trzech lat w Poznaniu zdarzyły się 34 334 kolizje i 2705 wypadków (ryc. 1). W wyniku wypadków drogowych w latach 2020–2023 życie straciło 65 osób, a 3029 zostało rannych.

Analizując poszczególne lata, można zauważyć, że najwięcej zdarzeń drogowych wystąpiło w 2021 roku, wtedy też zanotowano największą liczbę kolizji – 7242. Jednocześnie w tym roku miało miejsce najmniej wypadków, na co wpłynąć mogły obostrzenia wprowadzone w związku z pandemią COVID-19. Trudno zauważyć możliwy wpływ obostrzeń na liczbę kolizji. W roku 2020 zdarzyła się największa liczba wypadków drogowych – 620.

Dla siedmiu z dziesięciu dni z największą liczbą wypadków w latach 2020–2023 średnia dobowa temperatura powietrza wynosiła więcej niż 13°C, a dla pozostałych trzech dni – mniej niż 7°C (tab. 1). Opad atmosferyczny wystąpił jedynie w czterech dniach, w tym tylko jednego dnia wysokość opadu przekroczyła 1 mm, osiągając 11,6 mm. Dla dziesięciu dni z największą liczbą wypadków pokrywa śnieżna oraz mgła nie występowały, a zamglenie wystąpiło jedynie dla dwóch dni. Cztery z tych dni były dniami pogodnymi, a dwa – dniami pochmurnymi.

Dla pięciu z dziesięciu dni z największą liczbą kolizji w latach 2020–2023 średnia temperatura dobowa wynosiła poniżej 5°C, z czego podczas dwóch dni była ona poniżej zera (tab. 3). Dla pięciu dni wystąpił opad, z czego jednego dnia jego wysokość wynosiła 79,4 mm. Dla wybranych dziesięciu dni pokrywa śnieżna oraz mgła nie występowały, zamglenia natomiast zostały odnotowane dla siedmiu dni. Dla dwóch dni zamglenia te trwały całą dobę. Cztery z analizowanych



Ryc. 1. Liczba wypadków i kolizji drogowych w latach 2020–2023 w Poznaniu

Fig. 1. The number of road accidents and collisions in Poznań from 2020 to 2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KMP w Poznaniu.

Tabela 2. Warunki atmosferyczne w 10 dniach z najwyższą liczbą wypadków w ciągu jednego dnia w Poznaniu w latach 2020–2023

Table 2. Weather conditions on the 10 days with the highest number of accidents in a single day in Poznań in the years 2020–2023

Data	Dzień tygodnia	Liczba wypadków	Temp. min. [°C]	Temp. maks. [°C]	Temp. śr. dobową [°C]	Wys. opadu atm. [mm]	Wys. pokrywy śnieżnej [cm]	Czas trwania mgły [h]	Czas trwania zamglenia [h]	Wielkość zachmurzenia [oktanty]
23.09.2020	środa	8	12,4	26,5	19,5	–	–	–	–	2,5
11.12.2023	poniedziałek	7	4,1	8,8	6,2	11,6	–	–	8,9	7,6
9.09.2021	czwartek	7	11,8	26,0	19,8	–	–	–	–	0,8
21.06.2022	wtorek	7	9,7	22,4	15,3	0,1	–	–	–	4,0
14.06.2022	wtorek	7	9,4	20,1	13,9	–	–	–	–	5,1
8.06.2021	wtorek	6	12,4	27,2	21,1	–	–	–	–	1,1
7.02.2020	piątek	6	1,1	5,0	3,2	1,0	–	–	7,2	5,6
26.02.2020	środa	6	1,9	5,7	3,1	1,0	–	–	–	6,3
12.08.2020	środa	6	14,6	27,8	21,6	–	–	–	–	1,1
11.08.2022	czwartek	6	12,8	27,9	21,3	–	–	–	–	2,0

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KMP w Poznaniu oraz danych IMGW-PIB.

dziesięciu dni były pochmurne i jeden z całkowitym zachmurzeniem. Wystąpił tylko jeden dzień pogodny.

Tabela 3. Warunki atmosferyczne w 10 dniach z najwyższą liczbą kolizji w ciągu jednego dnia w Poznaniu w latach 2020–2023

Table 3. Weather conditions on the 10 days with the highest number of collisions in a single day in Poznań in the years 2020–2023

Data	Dzień tygodnia	Liczba kolizji	Temp. min. [°C]	Temp. maks. [°C]	Temp. śr. dobową [°C]	Wys. opadu atm. [mm]	Wys. pokrywy śnieżnej [cm]	Czas trwania mgły [h]	Czas trwania zamglenia [h]	Wielkość zachmurzenia [oktanty]
21.12.2023	czwartek	59	3,3	8,4	5,9	13,2	0,0	0,0	5,5	7,3
3.12.2020	czwartek	50	−3,9	−0,9	−2,4	3,5	0,0	0,0	24,0	7,9
12.02.2021	piątek	46	−17,0	−3,5	−9,1	0,0	6,0	0,0	10,9	5,0
13.12.2023	środa	43	3,7	5,1	4,3	3,5	0,0	0,0	24,0	8,0
24.01.2020	piątek	42	−2,0	3,3	0,5	0,0	0,0	0,0	5,7	2,9
12.05.2021	środa	39	16,5	27,5	20,4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5
24.05.2021	poniedziałek	39	7,8	20,1	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6
17.01.2020	piątek	38	−1,7	6,3	2,6	0,0	0,0	0,0	23,0	0,5
12.10.2021	wtorek	38	5,8	11,1	7,0	5,5	0,0	0,0	1,1	6,6
22.06.2021	wtorek	38	18,0	28,5	21,3	79,4	0,0	0,0	4,3	6,0

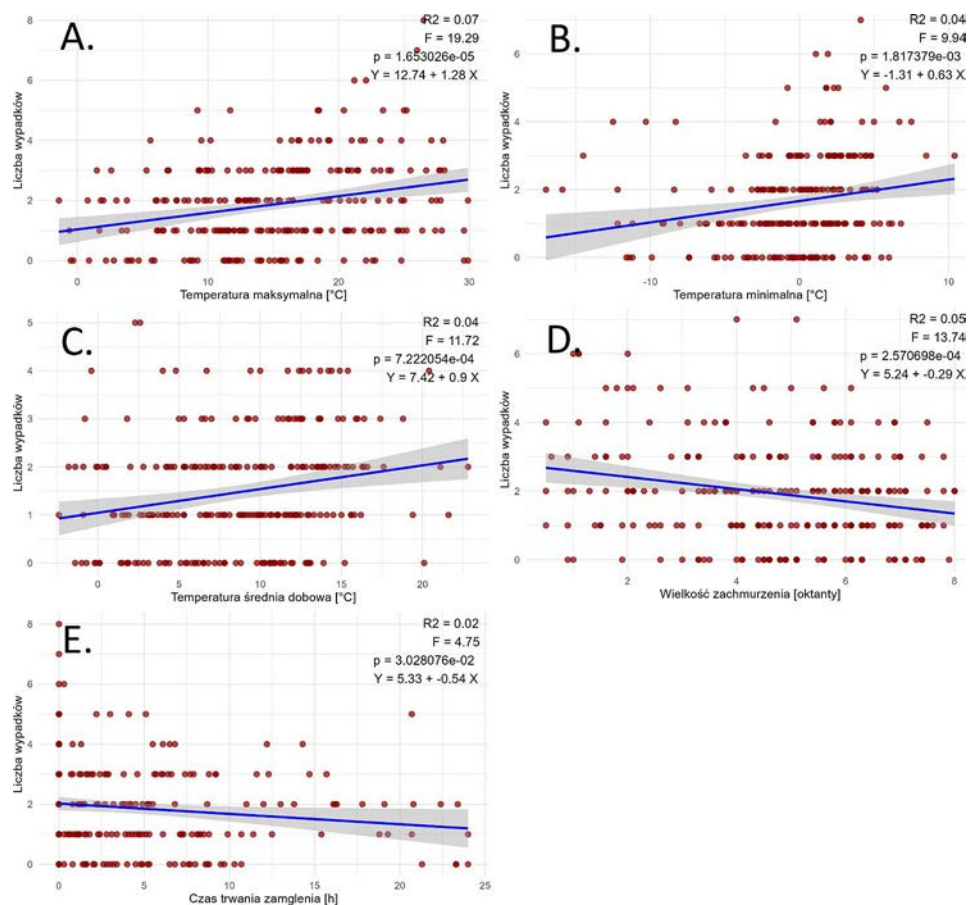
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KMP w Poznaniu oraz danych IMGW-PIB.

Korelacje liczby wypadków z warunkami atmosferycznymi

Liczba wypadków wykazuje istotny statystycznie związek z temperaturą powietrza, zarówno minimalną, maksymalną, jak i średnią w trzech porach roku: wiosną, jesienią i zimą. W każdym przypadku jest to słaba korelacja dodatnia. Wielkość zachmurzenia koreluje w sposób istotny statystycznie wiosną, latem i jesienią, a czas trwania zamglenia tylko wiosną i jesienią (ryc. 2). Między liczbą wypadków a wielkością zachmurzenia oraz czasem trwania zamglenia zachodzi słaba korelacja ujemna.

Korelacje liczby wypadków z warunkami atmosferycznymi

Liczba kolizji nie wykazuje istotnego statystycznie ($p > 0,05$) związku liniowego z większością badanych parametrów atmosferycznych. W 4 sezonach spośród 8 warunków atmosferycznych wykazano istotną statystycznie zależność liniową dla 8 kombinacji na 32 analizowane. Jedynym warunkiem atmosferycznym uzyskującym wartości korelacji istotnej statystycznie z liczbą kolizji we wszystkich meteorologicznych porach roku była wysokość opadów atmosferycznych. W każdym sezonie była to słaba dodatnia korelacja. Związek liniowy wykazano także



Ryc. 2. Wykresy rozrzutu liczby wypadków w zależności od wybranych warunków atmosferycznych w Poznaniu w latach 2020–2023

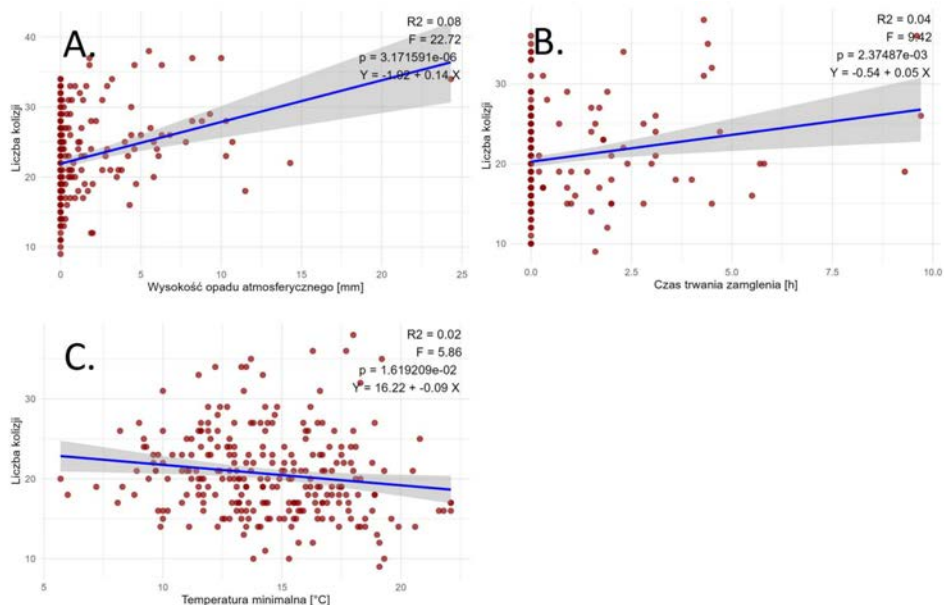
A – maksymalna temperatura powietrza (jesień); B – minimalna temperatura powietrza (zima); C – średnia dobową temperatura powietrza (wiosna); D – średnia wielkość zachmurzenia (lato); E – czas trwania zamglenia (jesień)

Fig. 2. Scatter plots of the number of accidents depending on selected weather conditions in Poznań in the years 2020–2023

A – maximum air temperature (autumn); B – minimum air temperature (winter); C – average daily air temperature (spring); D – average cloud cover (summer); E – duration of fog (autumn)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KMP w Poznaniu oraz danych IMGW-PIB.

między liczbą kolizji a czasem zamglenia latem i zimą. W obu przypadkach była to słaba korelacja dodatnia. Ostatnimi warunkami meteorologicznymi, których wartości wykazują istotny statystycznie związek liniowy z liczbą kolizji są minimalna temperatura powietrza i średnia temperatura powietrza (ryc. 3). W obu przypadkach jest to słaba korelacja ujemna, którą wykazano jedynie latem.



Ryc. 3. Rozrzut liczby kolizji w zależności od wybranych warunków atmosferycznych w Poznaniu w latach 2020–2023

A – wysokość opadu atmosferycznego (jesień); B – czas trwania zamglenia (jesień); C – minimalna temperatura powietrza (lato)

Fig. 3. Scatter of the number of collisions depending on selected weather conditions in Poznań in the years 2020–2023.

A – precipitation amount (autumn); B – duration of fog (autumn); C – minimum air temperature (summer)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych KMP w Poznaniu oraz danych IMGW-PIB.

Dyskusja i wnioski

Spośród wszystkich czynników meteorologicznych największy wpływ na liczbę wypadków drogowych wywiera temperatura powietrza, o czym świadczą wartości współczynnika korelacji Pearsona. Analiza wykazała istotne, choć słabe korelacje między temperaturą minimalną, maksymalną i średnią a liczbą wypadków drogowych w różnych porach roku. Pomimo znacznych różnic klimatycznych, do podobnych wniosków doszli badacze w Kuwejcie, badając zależności między wypadkami a pogodą w latach 2009–2010. Wykazali oni, że wzrost temperatury powietrza w istotny sposób przyczynia się do wzrostu liczby wypadków drogowych w sezonach jesiennym, wiosennym i zimowym (Al-Harbi i in., 2012). Badania przeprowadzone w Rumunii w latach 2011–2014 również potwierdziły dodatnią korelację między temperaturą powietrza, a liczbą wypadków (Drosu i in., 2020). Wyniki badań w tureckiej prowincji Uşak wykazują bardzo silną, dodatnią korelację między warunkami komfortu termicznego a liczbą zdarzeń drogowych. Stwierdzono, że wyższe wartości wskaźników termicznych, tj. komfort cieplny,

temperatura powietrza oraz średnia temperatura promieniowania, przyczyniają się do wzrostu liczby wypadków drogowych (Caglak, Metin, 2022).

Analizy przeprowadzone dla Poznania nie wykazały istotnego wpływu opadów atmosferycznych na liczbę wypadków drogowych, podobnie jak w przypadku Rumunii (Drosu i in., 2020). Odmienna sytuacja miała miejsce w Turcji, gdzie dni deszczowe były silnie, ujemnie skorelowane z liczbą wypadków (Caglak, Metin, 2022). W przypadku kolizji wysokość opadów atmosferycznych wykazywała słabą, dodatnią korelację we wszystkich porach roku, przy czym najsilniejszą zależność odnotowano jesienią, co jest zgodne z wynikami Edwardsa z Wielkiej Brytanii (Edwards, 1999). Jesienią kierowcy muszą zmierzyć się z dodatkowymi utrudnieniami na drodze, m.in. z obecnością liści, które w połączeniu z opadem atmosferycznym zwiększają ryzyko poślizgu.

Mgły oraz zamglenia rzadko stanowią główny czynnik wpływający na liczbę niebezpiecznych zdarzeń drogowych. Na terenie Poznania stwierdzono słabe, ujemne oddziaływanie zachmurzenia i czasu trwania zamglenia na liczbę wypadków. Badania przeprowadzone w Wielkiej Brytanii wskazują, że liczba wypadków związanych z mgłą wzrasta w ostatnim kwartale roku na większości obszaru kraju. Natomiast w Kornwalii wzrost liczby wypadków spowodowanych mgłą odnotowuje się latem, co może mieć związek z występowaniem mgły morskiej (Edwards, 1999).

Wpływ czynników meteorologicznych na liczbę wypadków i kolizji może się różnić w zależności od położenia geograficznego oraz lokalnych warunków klimatycznych. Jednak elementem wspólnym dla wszystkich przytoczonych badań jest temperatura powietrza, która z różnym nasileniem dodatnio skorelowana jest z liczbą wypadków.

Warto zauważyć, że w omawianych badaniach analizowano głównie liczbę wypadków, a w przypadku niniejszych badań dla Poznania możliwe było dokonanie osobnej analizy dla liczby wypadków i liczby kolizji, co pozwala osiągnąć bardziej szczegółowe wyniki.

Analiza ta pozwoliła stwierdzić, że warunki atmosferyczne nie są głównym czynnikiem determinującym liczbę wypadków i kolizji na drogach Poznania, na co wskazują niezbyt wysokie wartości bezwzględne współczynników korelacji Pearsona oraz siła związków. Istotnym problemem jest sposób zbierania danych o wypadkach – dane uzyskiwane są w przedziałach godzinowych, a nie w konkretnych godzinach. Zastosowanie danych godzinowych mogłoby przyczynić się do uzyskania wyższych wartości korelacji. Dodatkowo wpływ na obniżenie wartości korelacji mogły mieć obostrzenia wprowadzone w czasie pandemii COVID-19, które przyczyniały się jednocześnie do zmniejszenia ruchu oraz pogorszenia kondycji fizycznej i psychicznej kierowców.

Pojedynczo analizowane parametry meteorologiczne nie będą w stanie osiągać silnych korelacji z liczbą kolizji czy liczbą wypadków. Trzeba mieć na uwadze, że pogoda jest determinowana przez wiele warunków, nie tylko pojedyncze. Przykładowo wzrost temperatury nie musi się wiązać z poprawą pogody, a więc polepszeniem się wartości pozostałych warunków meteorologicznych.

Należy jednak zwrócić uwagę na pewne wykazane zależności. Dobra pogoda, a więc wysokie wartości temperatury powietrza, brak zamglenia i zachmurzenia wpływają na spadek liczby wypadków i występuje to przez większą część roku. Odwrotna sytuacja ma miejsce w przypadku liczby kolizji. Liczba kolizji zwiększa się w sytuacji pogorszenia się pogody, wskutek spadku wartości temperatury powietrza w niektórych sezonach i przede wszystkim występowania i wysokości opadów atmosferycznych.

Te prawidłowości może wyjaśniać zmniejszona uwaga kierowców na drogach oraz zwiększona prędkość w dniach z lepszymi warunkami atmosferycznymi, co przyczynia się do wzrostu liczby wypadków. Większa liczba kolizji występuje w warunkach przyczyniających się do obniżenia widoczności i przyczepności pojazdu do nawierzchni. Jednocześnie warunki te powodują zwiększenie uwagi kierowców i zredukowanie prędkości na drogach, dlatego zdarzenia drogowe rzadziej skutkują występowaniem ofiar rannych i śmiertelnych, a więc nie są klasyfikowane jako wypadki.

Literatura

- Al-Harbi M., Yassin M.F., Bin Shams M., 2012, Stochastic modeling of the impact of meteorological conditions on road traffic accidents, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 26(5): 739–750, <https://doi.org/10.1007/s00477-012-0584-y>
- Becker N.W., Rust H., Ulbrich U., 2022, Weather impacts on various types of road crashes: a quantitative analysis using generalized additive models, *European Transport Research Review*, 14: 1–18, <https://doi.org/10.1186/s12544-022-00561-2>
- Chakrabarty N., Guptab K., 2013, Analysis of driver behaviour and crash characteristics during adverse weather conditions, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 104: 1048–1057.
- Czernecki B., Głogowski A., Nowosad J., 2020, Climate: An R Package to Access Free In-Situ Meteorological and Hydrological Datasets for Environmental Assessment, *Sustainability*, 12: 394.
- Davis S., Boundy R.G., 2020, *Transportation Energy Data Book: Edition 38* (No. ORNL/TM–2019/1333), Oak Ridge National Lab. (ORNL), Oak Ridge, TN (United States).
- Drosu A., Cofaru C., Popescu M.V., 2020, Influence of weather conditions on fatal road accidents on highways and urban and rural roads in Romania, *International Journal of Automotive Technology*, 21(2): 309–317, <https://doi.org/10.1007/s12239-020-0029-4>
- Edwards J.B., 1999, The temporal distribution of road accidents in adverse weather, *Meteorological Applications*, 6: 59–68.
- Eurostat, 2023, Number of cars per inhabitant increased in 2021, European Commission (<https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/w/ddn-20230530-1>; dostęp: 10.03.2025).
- Główny Urząd Statystyczny, Urząd Statystyczny w Szczecinie, 2023, Transport drogowy w Polsce w latach 2020 i 2021. https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5511/6/7/1/td_w_pl_2023_003.pdf (dostęp: 18.05.2025).
- Metin A.E., Çağlak S., 2022, Assessment of the effect of land use change on bioclimatic comfort conditions in Uşak Province, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 46: 632–641, <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3032>

- Parlament Europejski, 2021, Statystyki śmiertelności na drogach w UE (infografika). Artykuł 20190410STO36615.R Core Team (2022) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna (<https://www.R-project.org>).
- Symon E. (Wydział Opiniodawczo-Analityczny Biura Ruchu Drogowego Komendy), 2020, Wypadki drogowe w Polsce w 2020 roku, Komenda Główna Policji, Biuro Ruchu Drogowego.
- Symon E. (Wydział Opiniodawczo-Analityczny Biura Ruchu Drogowego Komendy), 2021, Wypadki drogowe w Polsce w 2021 roku, Komenda Główna Policji, Biuro Ruchu Drogowego.
- Symon E., Rzepka P. (Wydział Opiniodawczo-Analityczny Biura Ruchu Drogowego Komendy), 2022, Wypadki drogowe w Polsce w 2022 roku, Komenda Główna Policji, Biuro Ruchu Drogowego.
- Symon E., Rzepka P. (Wydział Opiniodawczo-Analityczny Biura Ruchu Drogowego Komendy), 2023, Wypadki drogowe w Polsce w 2023 roku, Komenda Główna Policji, Biuro Ruchu Drogowego.
- Wickham H., Averick M., Bryan J., Chang W., D'Agostino McGowan L., Francois R., Grolemund G., Hayes A., Henry L., Hester J., Kuhn M., Lin Pedersen T., Miller E., Bache S.M., Muller K., Ooms J., Robinson D., Seidel D.P., Spinu V., Takahashi K., Vaughan D., Wilke C., Woo K., Yutani H., 2023, Welcome to the Tidyverse, *Journal of Open Source Software*, 4, 43: 1686.
- World Health Organization, 2023, Global status report on road safety 2023.

Impact of meteorological conditions on the number of accidents and road traffic collisions in Poznań in 2020–2023

Abstract: The article presents the relationship between road accidents and collisions and the prevailing meteorological conditions in Poznań in 2020–2023. Meteorological data from the IMGW-PIB database and information on road accidents and collisions from the database of the Municipal Police Station in Poznań were analysed. The results showed that the meteorological factor with the greatest impact on the number of road accidents and collisions is air temperature. A difference was observed in the trends of changes in the number of road accidents and collisions depending on the weather conditions – worsening weather led to an increase in the number of collisions, while improving weather favoured an increase in the number of accidents. Nevertheless, it was concluded that weather conditions are not the main factor determining the number of road accidents and collisions in Poznań in 2020–2023.

Keywords: road accidents, climate, weather

II. Człowiek w środowisku geograficznym

Sekcja Geografii Społeczno-Ekonomicznej
Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Jakub Sanojca, Oliwia Kapuścińska, Sara Koniec, Duszan Parol

Zmiany struktury i rozkładu przestrzennego działalności gospodarczej na obszarze Starego Miasta w Poznaniu

Zarys treści: Artykuł powstał w oparciu o inwentaryzację działalności gospodarczej na obszarze Starego Miasta, która została przeprowadzona na przełomie stycznia i lutego 2024 roku. Uzyskano dane o miejscu i typie prowadzonej działalności, w oparciu o te wyniki omówiono strukturę przedsiębiorstw według PKD, porównano wyniki z udziałem poszczególnych grup w 2011 i 2014 roku. Zaprezentowano również rozmieszczenie wybranych działalności i pustostanów. Najczęstszymi typami usług była gastronomia (32,8%), działalność profesjonalna, naukowa i techniczna (12,3%) oraz handel detaliczny (12,1%), pustostany stanowiły 8,2% spisanych lokali. Restauracje w każdym momencie czasowym były najczęstszym typem działalności, na ogół ulokowane były na Starym Rynku i głównych ulicach odchodzących od niego: Wrocławskiej i Żydowskiej, tworząc układ koncentryczno-radiacyjny.

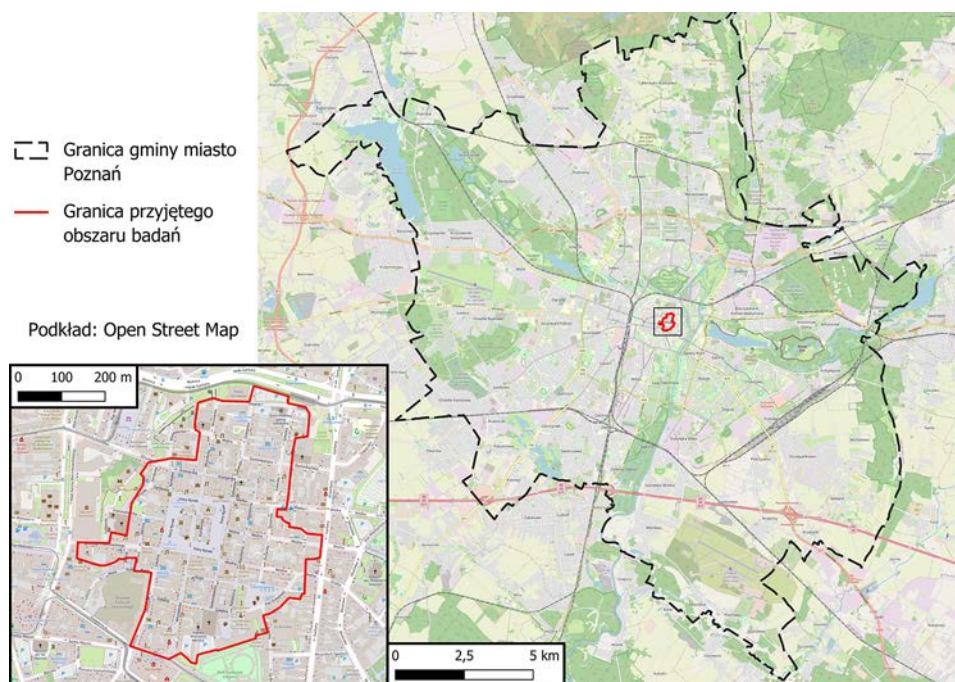
Słowa kluczowe: Poznań, Stary Rynek, Stare Miasto, działalność gospodarcza, PKD

Wstęp

Stare Miasto jest terminem wieloznacznym w kontekście stolicy Wielkopolski. Jednym ze znaczeń jest przypisanie historycznej części Poznania obejmującej rejon Ostrowa Tumskiego, Starego Rynku i okolicznych uliczek oraz placu Wolności i Zamku Cesarskiego. Jest to najbardziej turystyczny rejon miasta, gdzie zlokalizowane są najważniejsze zabytki Poznania, takie jak: Katedra, Stary Rynek

i Zamek Cesarski (Urząd Miasta Poznania, 2024c). Do 1990 roku Starym Miastem określano jedną z 5 dzielnic, która obejmowała centrum i północ miasta, a która obecnie jest używana jako jednostka statystyczna. Również tym mianem określa się jedną z 42 jednostek pomocniczych nazywanych osiedlami, która obejmuje centralną część Poznania. Osiedle to tworzą dzielnice mieszkaniowe: Chwaliszewo, Dzielnica Cesarska, Garbary, Grobla, Piaski, Piekary, Przepadek, Rybaki, Święty Marcin, Święty Wojciech i *nomen omen* Stare Miasto (Stare Miasto, 2024). Obszar badań jest skoncentrowany na Starym Rynku i okalających ulicach (ryc. 1), który najbliżej jest dzielnicy mieszkaniowej i ścisłego, historycznego centrum Poznania. W związku z tym autorzy nazywają „Starym Miastem” obszar uważany przez mieszkańców i turystów za centrum miasta, objęte remontami w ostatnich latach.

Stary Rynek, dawniej zwany Rynkiem czy też Alter Markt (Zagórski 2008), to główny plac miejski Poznania, ulokowany w centrum aglomeracji. Od niego odchodzi 12 ulic, które stanowią podstawę regularnego podziału Starego Miasta (<https://zamieszkali.pl/poznan-stary-rynek-atrakcje-zdjecia-ciekawostki/>). Ów Rynek został wytyczony w 1253 roku na lewym brzegu Warty na planie kwadratu o boku 141 m, co czyni go trzecim największym rynkiem staromiejskim w Polsce, tuż za krakowskim i wrocławskim (Urząd Miasta Poznania, 2024d). Na opisywanym obszarze ulokowane są najsłynniejsze zabytki miasta Poznania,



Ryc. 1. Położenie obszaru badań na terenie miasta Poznania

Źródło: opracowanie własne.

m.in: Ratusz, Domki Budnicze, Bazylika Farna oraz wiele muzeów, restauracji i lokali usługowych, w tym rozrywkowych i turystycznych.

Stary Rynek Poznania od początku swego istnienia był miejscem koncentracji handlu, tego z własnym zapleczem, jak i tranzytowego. Sprzedaż detaliczna skupiała się w zabudowie wewnątrz Rynku i na jego płycie, a hurtowa w otaczających kamienicach. Usługi rzemieślnicze były w dalszych budynkach. Przez milenia ta część miasta pełniła funkcję centrum handlu Poznania. W XIX wieku nastąpiły zmiany przestrzenne na Rynku, m.in. zwiększono wysokość okolicznych budynków, przeszklono partery, wprowadzono komunikację tramwajową. Kolejna metamorfoza tej części miasta odbyła się po II wojnie światowej, gdy podjęto decyzję o odbudowie Starego Rynku po zniszczeniach wojennych w formie architektonicznej z końca XVIII wieku (Zieliński, 1953).

Ta część miasta zachowywała swoją odnowioną formę i funkcję usługową, choć zaczęła dominować gastronomia, a nie handel. W marcu 2014 roku ogłoszono plany remontowe Starego Rynku w Poznaniu, natomiast przetarg w lutym 2017. W tamtym czasie zakładano, że prace będą trwały między 2019 a 2021 rokiem, warto nadmienić, że konkretne terminy zależały od remontu placu Kolegiackiego, który miał być wcześniej ukończony, aby przejąć część funkcji Starego Rynku na okres remontu. Dlatego też w wyniku przesunięcia daty remontu placu Kolegiackiego na 2019 rok, potem jego przedłużenia w wyniku prac archeologicznych i wybuchu pandemii COVID-19 odłożono kwestię prac na Starym Rynku na późniejszy termin.

W październiku 2020 roku, mimo pandemii, ruszyły wstępne badania archeologiczne na płycie Starego Rynku, które nie były częścią prac modernizacyjnych, ale były pierwszym widocznym i odczuwalnym utrudnieniem w tym miejscu. Przez wyżej opisane utrudnienia z końcem 2020 roku otworzono ponownie przetarg na remont, który później był przekładany i doszło do tego, że w marcu 2021 roku nikt nie złożył oferty. Wówczas miasto zdecydowało się na negocjacje z tzw. wolnej ręki. Wszystkie te działania doprowadziły do wyłonienia firmy Tormel w lipcu 2021 roku jako wykonawcy kontraktu o wartości 135 mln zł. Trzy miesiące później rozpoczęły się właściwe prace archeologiczne, które w lutym 2022 roku odsłoniły m.in. ruiny piwnic Nowego Ratusza rozebranego po II wojnie światowej. Również w tym miesiącu przystąpiono do ściągania kostki brukowej ze Starego Rynku. W marcu następnego roku zaczęto montaż nowej nawierzchni, a 1 grudnia udostępniono płytę rynku dla mieszkańców i turystów. Jeszcze na początku 2024 roku remontowano ulice śródrynkowe i wprowadzano poprawki, a w marcu tego samego roku oficjalnie zakończono zasadnicze prace budowlane (Paż, 2024).

Jak podaje oficjalna strona Poznania: „Budżet przeznaczony na całą rewaloryzację Starego Rynku jest wyższy niż pierwotne szacunki sprzed kilku lat ze względu na dodatkowy zakres i niezależne czynniki”. Wynika to z długiego procesu remontowego (Bielicka, 2023), który wpływał negatywnie na działalność gospodarczą (Konieczna, 2022; Paślawska, 2023; Ratajczak, 2024). Z tego powodu Stary Rynek zyskał miano „Rozkopanego”, choć władze miasta uznają, że prace renowacyjne nie zniechęciły turystów (Czekała, 2024). Zakończenie głównego

etapu prac remontowych oraz ograniczenia dla działalności gospodarczych na obszarze Starego Rynku i jego okolicy stały się powodem przeprowadzenia badań i napisania artykułu.

Literatura

Lokalizacja usług w Poznaniu była obiektem badań m.in. Polarczyka (1974, za: Wilk, 2001), Kaczmarek (2008), Paryska i Mierzejewskiej (2014) oraz Tanaś (2015). Właśnie w oparciu o ostatnią z pozycji, która skoncentrowała się na obszarze Starego Miasta, ukazano zmianę w strukturze użytkowania lokali oraz zbadania udziału pustostanów. Tanaś w swoim tekście ukazała wyniki dwóch inwentaryzacji z 2011 i 2014 roku, jednakże nie skorzystała z podziału PKD, który zastosowała grupa badawcza oraz zbadała mniejszą liczbę ulic wokół Starego Rynku (Stary Rynek, Gołębia, Jaskółcza, Paderewskiego, Szewska, Szkolna, Wodna, Wrocławska, Wroniecka, Żydowska).

Przy tłumaczeniu czynników lokalizacji usług oraz typów ich rozmieszczenia powołano się na Maika (1992), Wilka (2001), Kaczorek i Kowalczyka (2003), Budnera (2004) oraz Kłosowskiego (2021). Pierwszy z autorów w podręczniku „Podstawy geografii miast”, który jest wykorzystywany po dziś, zaprezentował trzy typy skupisk usług w mieście: ośrodki-ogniska, pasma i obszary wyspecjalizowane. Rodzaje te zostały oparte na badaniach Berry’ego, który w latach 60.–70. XX wieku zajmował się klasyfikacją funkcjonalno-przestrzenną skupisk usługowych usług w miastach. Badania rozmieszczenia usług w przestrzeni wewnętrznej, dokładniej to handlu detalicznego, rozpoczęto w latach 30. XX wieku w USA (Proudfoot, 1937, za: Wilk, 2001), a w Polsce jednym z pionierów był Polarczyk (1974, za: Wilk, 2001).

Cel, zakres i metody pracy

Zakończenie głównego etapu remontu Starego Rynku było powodem do zbadania stałej działalności gospodarczej¹ na jego terenie i w okolicy. W pracy postawiono następujące pytania badawcze: 1) jaka jest liczba przedsiębiorstw na badanym obszarze?; 2) jaka jest struktura działalności gospodarczych?; 3) jakie jest rozmieszczenie przestrzenne badanych obiektów?; 4) jak na wybranych ulicach zmieniła się struktura przedsiębiorstw w stosunku do poprzednich lat?

Badanie autorzy przeprowadzili, pozyskując dane pierwotne o 536 obiektach, inwentaryzując je w okresie 13 stycznia–24 lutego 2024 roku za pomocą smartfonowej aplikacji QFIELD. Zakresem badawczym objęto ulice: Stary Rynek, Paderewskiego, Wrocławską, Sierocą do Paderewskiego, Szkolną, fragment Koziej od Szkolnej, Gołębia, Jaskółcza, Plac Kolegiacki, Świętosławską, Klasztorną,

¹ W pracy nie uwzględniono obwoźnych punktów usługowych. Na płycie Starego Rynku są wystawiane okresowo kramy, których w trakcie badań nie było.

Wodną, Woźną do ulicy Garbary, Wielką oraz Dominikańską do Szewskiej, Szewską, Kramarską, Stawną, Żydowską, Wroniecką, Rynkową i Zamkową. Pozyskano dane o: 1) typie prowadzonej działalności, które następnie zgrupowano według Polskiej Klasyfikacji Działalności (PKD), 2) nazwie punktu, 3) adresie.

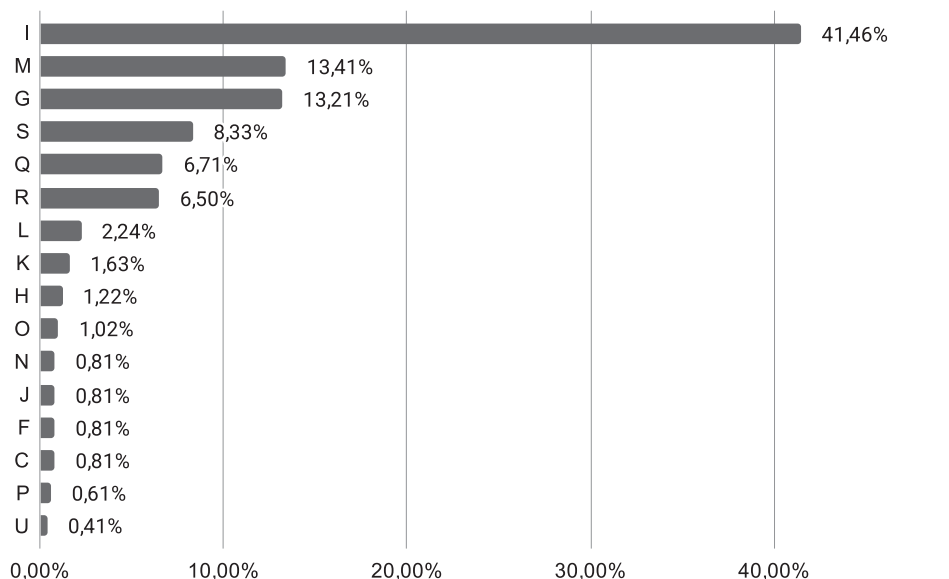
Wyniki badań objęte są marginesem błędu. Podczas 43 dni pracy doszło do sytuacji, że część lokali zamknięto (jeżeli zostało to odnotowane, wpisano je jako pustostany), tymczasowo zamknięto ze względu na sezonowy charakter prac (np. lodziarnie) lub z powodu remontów. Punkty okresowo zamknięte były spisywane jako działające. Informacje o istnieniu lokalu pozyskiwano z witryny sklepowej, szyldu lub spisu lokatorów. W ten sposób mogły zostać nieuwzględnione jednoosobowe działalności gospodarcze prowadzone z mieszkań prywatnych czy wpisane punkty, które zostały skreślone z rejestru REGON, a wciąż posiadające szyld czy będące w spisie posiadaczy lokalu. Część działalności świadczy różne typy usług, np. restauracja może być zarazem kawiarnią, w tej sytuacji przypisano główny typ działalności gospodarczej.

Struktura działalności gospodarczych według PKD 2007

Najczęstszą formą działalności gospodarczej była gastronomia (I.56, 35,8%). W tej grupie restauracje i stałe punkty gastronomiczne (I.56.10.A) stanowiące 20,7% lokali, lokale przygotowujące napoje, takie jak kawiarnie (3,3%) oraz bary (11,8%; ryc. 2). Decyzja o wydzieleniu pubów wynika z ich dużej liczby na obszarze Starego Miasta, przez co są ważnym elementem m.in. ul. Wrocławskiej. Tak wysoki udział sekcji I.56 wynika z lokalizacji w centrum miasta oraz liczby atrakcji turystycznych (Kłosowski, 2021), które przyciągają turystów będących klientami tych lokali (Kaczorek, Kowalczyk, 2003).

W ramach sekcji I jest też uwzględnione zakwaterowanie (I.55) obejmujące 5,7% obiektów, najczęściej były to hotele (I.55.10, 4,3%), a następnie hostele (1%), Dom Studenta Akademii Muzycznej oraz Państwowa Bursa Szkół Artystycznych. Na ich lokalizację ma wpływ położenie w centrum miasta oraz okoliczne atrakcje (Kłosowski, 2021), jednakże negatywnie może oddziaływać oddalenie Starego Miasta od lotniska czy hałas wynikający z obecności barów oraz klubów. Trzeba zaznaczyć, że współcześnie coraz częstszą formą zakwaterowania jest krótkoterminowe wynajmowanie prywatnych lokali za pomocą platform internetowych, które mogło nie być uchwycone w badaniu.

Następną największą sekcją jest działalność profesjonalna, naukowa i techniczna (M), reprezentowana przez 66 placówek, z czego 39 były to kancelarie prawne (M.69.10), a 9 biura rachunkowe i doradztwa finansowe (M.69.20). Działalności te wiążą się z częstymi kontaktami usługodawców, a w związku z tym z długotrwałym procesem oferowania usług (Wilk, 2001). Dlatego też można założyć, że dostępność komunikacyjna w postaci transportu publicznego i położenie w centrum miasta wciąż są ważnymi czynnikami lokalizacji, pomimo rozwoju usług elektronicznych, a w ten sposób zmniejszenia znaczenia bliskości przestrzennej usługodawcy i usługobiorcy (Dominiak, 2017). Duża część z tych działalności to



Ryc. 2. Struktura działalności gospodarczych w podziale PKD

Źródło: opracowanie własne.

kancelarie prawne, a Wilk (2001) postawił hipotezę, że rozmieszczenie kancelarii powinno ułatwiać pokonywanie odległości między nimi a budynkami sądowymi. Jest całkiem możliwe, że do takiej sytuacji doszło i w centrum Poznania, bowiem w okolicy badanego obszaru znajduje się Sąd Rejonowy Nowe Miasto i Wilda oraz Sąd Rejonowy Stare Miasto. Na lokowanie takich działalności ma wpływ też reprezentacyjność otoczenia oraz spokój i bezpieczeństwo okolicy (Wilk, 2001).

Trzecia była sekcja G, a dokładniej grupa 47, czyli handel detaliczny. Na badanym obszarze najczęściej znajdowało się sklepów specjalistycznych, których było 11, a były to głównie sklepy z pamiątkami i optyczne. Następnie było to 8 sklepów ogólnospożywczych, po 7 sklepów odzieżowych i cukierni oraz 6 antykwariatów, pozostałe sklepy odnotowano w mniejszej liczbie.

Działalność związana z kulturą, rekreacją i rozrywką (R), opieką zdrowotną i pomocą społeczną (Q) oraz uznawane za pozostałe działalności usługowe (S) stanowiły ponad 5%. Najwięcej w sekcji R odnotowano: po 11 klubów (R.93.29.A) oraz muzeów (R.91.02) i 7 obiektów kulturowych (R.90.04) w postaci galerii sztuki. W przypadku muzeów były to obiekty klasyczne, takie jak Muzeum Powstania Wielkopolskiego czy Muzeum Archeologiczne, oraz z nowoczesną tematyką czy formą, takie jak Rogalowe Muzeum Poznania oraz Muzeum Iluzji, Nauki i Sztuki. Z usług medycznych odnotowano 14 specjalistycznych praktyk medycznych (Q.86.22) oraz 11 obiektów zakwalifikowanych jako pozostała działalność w zakresie opieki zdrowotnej (Q.86.90.E), takie jak gabinety psychologiczne, psychoterapeutyczne czy punkty pobrań. Z działalności klasyfikowanych w PKD jako „pozostała działalność usługowa” spisano m.in. 15 salonów fryzjerskich, barberskich i piękności (S.96.02) oraz 6 zakładów pogrzebowych (S.96.03).

Na tle omawianych działalności gospodarczych wyróżnia się Wydział Malarstwa i Rysunku Uniwersytetu Artystycznego w Poznaniu, jedyna szkoła wyższa na badanym obszarze, oraz konsulaty Stanów Zjednoczonych Ameryki i Republiki Francuskiej, gdzie w ostatniej placówce konsulem honorowym jest prof. UAM Igor Kraszewski.

Ważnym elementem rozwoju społeczno-gospodarczego są nowoczesne usługi, zwane też opartymi na wiedzy. Są to działalności o wyspecjalizowanych ofertach, podatne na postęp technologiczny, generujące innowacyjne rozwiązania, w których potrzebni są pracownicy o wysokich kwalifikacjach zawodowych lub inwestycje w nowoczesne technologie. Do takich zalicza się usługi edukacyjne (P), medyczne (Q), obsługi nieruchomości (L), informacyjne i komunikacyjne (J), finansowo-ubezpieczeniowe (K), badawczo-rozwojowe, profesjonalne (M) i usługi dla biznesu (Dominiak, 2017, 2018). Te ostatnie, zwane też profesjonalnymi, są usługami klasyfikowanymi w PKD 2007 w sekcjach: J, K, L, M oraz N (działalność w zakresie usług administrowania i działalność wspierająca).

Świadczą one usługi dla innych przedsiębiorstw, dlatego usługobiorcy mogą rezygnować z działań odpowiedzialnych za księgowość, marketing, prawo czy informatykę, zmniejszając koszty i zwiększając elastyczność produkcyjną (Dominiak, 2017). Usługi dla biznesu są odporną częścią gospodarki, ze względu na duże możliwości przestrzenne świadczenia usług, wynikające z korzystania z Internetu w relacjach z klientem (Dominiak, 2017, 2022). Działalności oparte na wiedzy odpowiadały za 26,22% przedsiębiorstw na obszarze Starego Miasta, w tym usługi dla biznesu stanowiły 18,9%. Ich struktura nie była złożona, były to głównie kancelarie prawne i biura rachunkowe, specjalistyczne praktyki lekarskie (Q.86.22), gabinety psychoterapeutyczne i psychologiczne oraz punkty pobrań, w tym laboratorium analiz lekarskich (Q.86.90.E).

Większość badanych obiektów to usługi swobodne, zwane niewymuszonymi, a więc punkty powstające w wyniku swobodnego wyboru miejsc realizacji usług. Są to punkty naprawcze, handlowe, gastronomiczne, usługi finansowe, oświatowo-kulturalne, rekreacyjne i prywatne gabinety medyczne. Część z nich posiada wysoki próg rentowności, a więc wymagają dużej liczby klientów, którzy muszą pokonać określony dystans, by z nich skorzystać (Budner, 2004). Lokalizacja w obrębie Starego Miasta jest korzystna dla takich działalności ze względu na centralne położenie i bliskość przystanków tramwajowych. Niewątpliwie efekt aglomeracji wpływa pozytywnie na ofertę usług rozrywkowych, barów i atrakcji turystycznych, które przyciągają mieszkańców i przyjezdnych, a ci następnie skorzystają z innych usług (np. gastronomicznych). Na tym terenie w mniejszej liczbie występują również usługi o lokalizacji wymuszonej, głównie związane z samorządem lokalnym, które są zazwyczaj sytuowane w centrach miast (Budner, 2004; Kłosiński, 2021).

Przemiany struktury użytkowania lokali w latach 2011–2024

W celu zaprezentowania dynamiki zmian utworzono strukturę wykorzystania lokali na tym samym obszarze co w badaniu Tanaś (2015). Tu trzeba odnotować różnice w klasyfikacji działalności między badaniami, gdyż w przywoływanym tekście jako „inny” zakwalifikowano obiekty tylko raz spisane (np. lombard, cech, wizytówki). W badaniu przeprowadzonym w niniejszym opracowaniu spisano szereg typów działalności gospodarczej, które odnotowano 2–3 razy. Z tego względu, by nie tworzyć kolejnych kategorii, zdecydowano, że takie usługi również będą zakwalifikowane jako „inne”. W pracy Tanaś nie wzięto pod uwagę działalności prawniczej, informatycznej czy doradztwa finansowego, dlatego autorzy pracy wydzielili dodatkową kategorię – „działalność profesjonalna”.

W każdym z badanych momentów czasowych najczęstszą formą działalności były restauracje i fast foody, które w 2014 roku stanowiły 32,47% obiektów, a dekadę później 24,07% (ryc. 3). Wysoki udział branży gastronomicznej wynika z centralnej lokalizacji w mieście, dogodnych dojazdów w obręb Starego Miasta przy pomocy tramwajów (Dominiak, 2022) i turystycznego charakteru tego obszaru. Kolejnym czynnikiem jest bliskość innych obiektów, przez co klienci mogą pójść do restauracji czy zamówić jedzenie na wynos po skorzystaniu z usług w innych punktach (Kłosowski, 2021). Wysoki udział w 2014 roku może być związany ze znaczącym udziałem pustostanów – 18,45%. Prawdopodobnie restauracje potrafiły lepiej dostosować się do trudnej sytuacji lokalowej powstałej po 2011 roku, nie tracąc (znacząco) popytu na swoje usługi w przeciwieństwie do sklepów specjalistycznych czy biur podróży, które nie zapewniają podstawowych dóbr. Wpływ na gastronomię ma też Zintegrowany Program Odnowy i Rozwoju Śródmieścia Poznania „Program dla Śródmieścia” (ZPOiRŚP), który za jeden z celów miał uspokojenie ruchu samochodowego i przywrócenie ulic pieszym (Parysek, Mierzejewska, 2014), co zmniejszyło problemy dla ogródków gastronomicznych², wynikających z hałasu samochodów.

Wysoki udział, w każdym z momentów czasowych, a najbardziej w 2024 roku miały kluby i puby (18,31%), a zwłaszcza te drugie. Ich obecność wynika z tych samych aspektów, co w odniesieniu do restauracji. Znaczącą grupą była działalność profesjonalna (13,22%) oraz „inne”, których udział wzrasta i w najnowszym momencie czasowym są to m.in. obroty nieruchomościami, usługi informatyczne czy szkoła baletowa. Pozostałe działalności zajmowały mniej niż 5% lokali, a najmniej było sklepów z artykułami domowymi, RTV i AGD oraz poczt, nie spisano żadnego biura podróży.

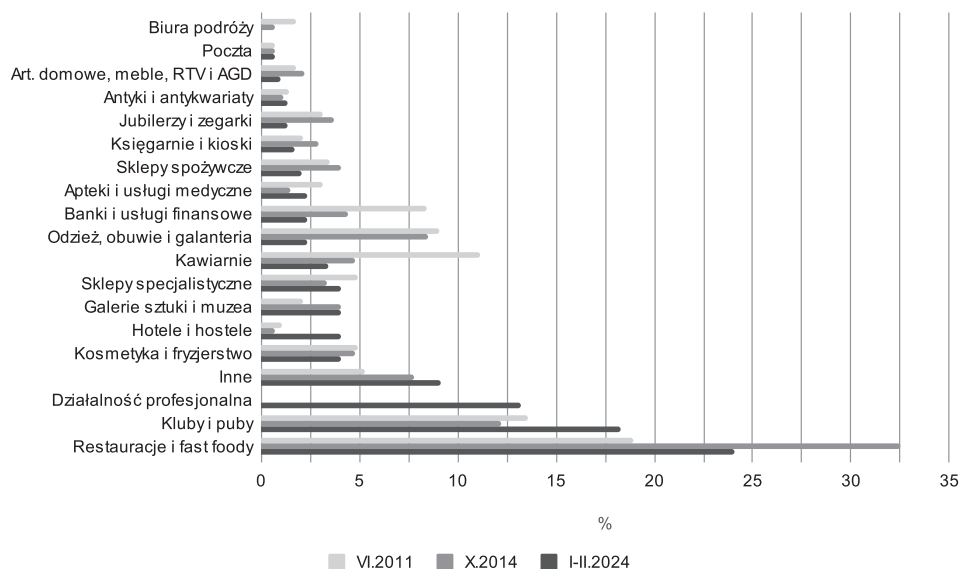
Między 2011 a 2024 rokiem największy spadek odnotowano w udziale kawiarni (–7,73 p.p.), sklepów odzieżowych (–6,72 p.p.) i usług bankowych oraz

² Trzeba zaznaczyć, że w 2015 roku narożne ogródki zniknęły i zaostrzono przepisy, jak mają wyglądać (np. zakazano ścianek czy namiotów), co się nie spodobało restauratorom. Celem było zwiększenie atrakcyjności wizualnej Starego Rynku, co mogło poskutkować większą liczbą klientów.

finansowych (–6,02 p.p.), a wzrósł udział galerii sztuki i muzeów (1,97 p.p.), hoteli oraz hosteli (3,02 p.p.), klubów i pubów (4,71 p.p.), restauracji (5,12 p.p.) i innych (3,86 p.p.). Zmiany w przypadku galerii, muzeów oraz noclegów wynikać mogą z rozwoju turystyki w Poznaniu. Liczba turystów korzystających z noclegów wzrosła z 605 337 tys. osób w 2011 roku do 731 152 osób w 2014 roku i 808 465 osób w 2023 roku (GUS, 2025). Jest możliwe, że spadek udziału sklepów odzieżowych wynika z problemów handlu towarami niespożywczymi wynikającymi z pandemii COVID-19 (Dominiak, 2022), a usług bankowych i finansowych z rozwoju bankowości mobilnej oraz ZPOiRŚP, który m.in. miał na celu zmniejszenie liczby biur i placówek bankowych przy głównych ulicach (Parysek, Mierzejewska, 2014).

Liczba pustostanów na całym badanym obszarze wynosiła 44 (ryc. 2). Na ulicach inwentaryzowanych przez Tanaś (2015) było ich 29 i odpowiadały za 8,95% lokali. Jest to wyraźnie mniej niż dekadę temu, gdy było ich 50 (18,45%), ale więcej niż w 2011 roku, gdy było ich tylko 9, czyli 3,15% spisanych punktów. Wysoki udział pustostanów w 2014 roku mógł wynikać z istnienia lokali o niskiej atrakcyjności rynkowej, wysokich czynszów, przestępczości czy niskiego poziomu czystości, które wpływały na wizerunek centrum miasta (Urząd Miasta Poznania, 2024b). W badaniu Wilka (2001) reprezentacyjność otoczenia i poczucie bezpieczeństwa są ważnymi elementami dla usług lokowanych w centrum miasta.

Taki udział pustostanów na początku 2024 roku jest związany ze skutkami pandemii COVID-19 oraz przeprowadzanym remontem Starego Rynku i jego okolicy. Ograniczenia wynikające z pandemii najbardziej uderzyły w handel towarami niespożywczymi, hotelarstwo i gastronomię, choć ostatni typ działalności



Ryc. 3. Struktura rodzajowa lokali na wybranych ulicach Starego Miasta w latach 2011, 2014 i 2024

Źródło: opracowanie własne w oparciu o Tanaś (2015).

po pandemii odzyskał swoją pierwotną bazę klientów (Dominiak, 2022). W przypadku sklepów, restauracji oraz kawiarni widać spadek między 2014 i 2024 rokiem, ale odsetek klubów oraz barów wzrósł (ryc. 3). Ze względu na brak danych na parę miesięcy lub lat sprzed pandemii, nie można stwierdzić, co było ważniejszą przyczyną ograniczenia liczby lokali użytkowych – utrudnienia wynikające z COVID-19 czy remont. Prawdopodobnie sklepy mogły stracić swoją pozycję w wyniku trwałego spadku liczby konsumentów w okresie pandemii, a gastronomia oraz kluby (rekreacja) mogły się odbudować, ponieważ klienci ponownie zaczęli z nich korzystać (Dominiak, 2022).

Prace na płycie Starego Rynku zmniejszały liczbę konsumentów z powodu ograniczenia dostępności lokali wskutek tworzenia tymczasowych przejść i wyłączenia chodników z użytku. Nie było więc możliwe wystawianie ogródków restauracyjnych przed lokalami oraz zmniejszyła się atrakcyjność wizualna przestrzeni. Władze miasta starały się zrekompensować brak letnich ogródków w branży gastronomicznej poprzez stworzenie takowych na placu Wolności (250 m od płyty Rynku; Konieczna, 2022).

Innym negatywnym zjawiskiem na Starym Rynku jest obecność „klubów go-go”, które zostały zaklasyfikowane do grupy „inne”. Ich liczba w badanym okresie wzrosła pomimo walki miasta z nimi (Głos Wielkopolski, 2019; Nyczka, 2022) i wprowadzenia Parku Kulturowego, który od 2022 roku zakazuje działalności o charakterze seksualnym oraz nagabywania (Nyczka, 2022; Głos Wielkopolski, 2024; Urząd Miasta Poznania, 2024a). Ich działalność skutkuje oszustwami na klientach (Nyczka, 2022) oraz zmęczeniem nagabywanych osób, które wchodzi na Stary Rynek i jego okolice (EPoznań.pl, 2024).

Rozmieszczenie przestrzenne działalności gospodarczych

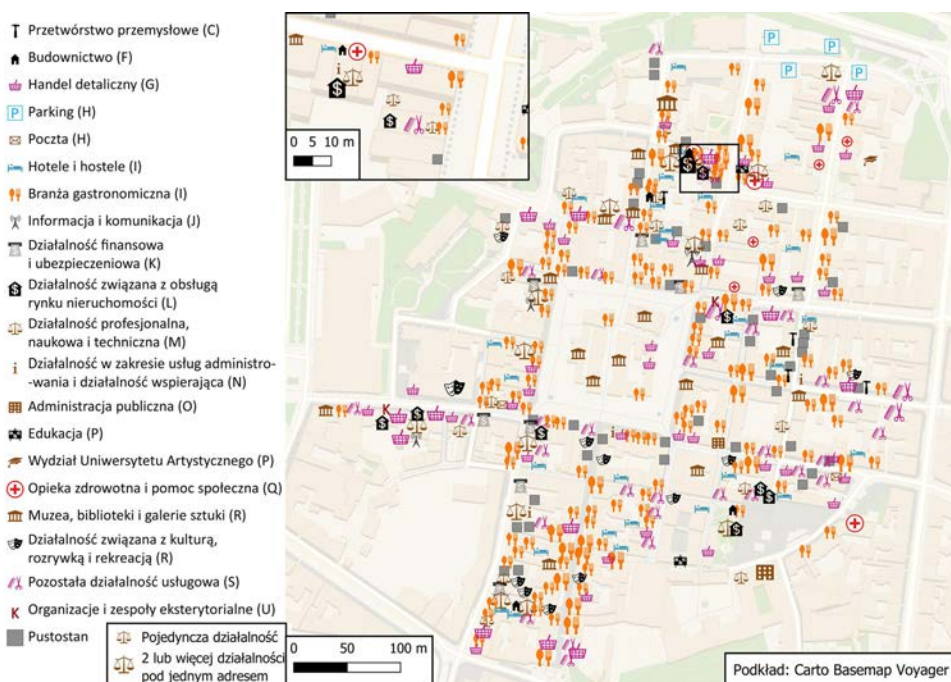
Rozmieszczenie wszystkich zinwentaryzowanych przez autorów obiektów zaprezentowano na rycinie 4. Dla czytelności, jeśli pod jednym adresem znajdowało się kilka działalności lub była koncentracja punktów z tego samego działu, zaprezentowano je za pomocą dużej sygnatury. Często w jednym budynku znajdowały się działalności związane z obsługą nieruchomości i usługi profesjonalne, zazwyczaj w postaci kancelarii prawnych, czasem doradztwa finansowego, podatkowego, biznesowego oraz biur architektonicznych.

Muzea były skoncentrowane na Rynku, z obiektami znajdującymi się też na ul. Mokrej (Poznańskie Muzeum Piry), Klasztornej (Rogalowe Muzeum Poznania, Muzeum Archeologiczne), Wrocławskiej (Muzeum Czekolady) i Woźnej (Muzeum Iluzji, Nauki i Sztuki). Galerie sztuk były zazwyczaj na ulicach: Wronieckiej, Kramarskiej, Paderewskiego, Ślusarskiej, Żydowskiej i Stary Rynek.

Wyróżniającymi się punktami były parkingi, zlokalizowane w północnej części badanego obszaru, przy przystanku tramwajowym Małe Garbary. Żeby dojechać do nich, trzeba wjechać w obszar Starego Miasta z ul. Garbary na jednokierunkową Szewską.

Obszarem z dużą liczbą działalności administracji publicznej i opieki zdrowotnej jest plac Kolegiacki. Tam, po południowej stronie, znajduje się Urząd Miasta i we wschodniej części budynek, w którym znajduje się większość usług medycznych z badanego obszaru. Są to zazwyczaj poradnie lekarskie, gabinety prywatne, centra rozwiązywania problemów z uzależnieniami, laboratoria czy centralna sterylizatornia sprzętu medycznego.

Najwięcej pustostanów odnotowano na Starym Rynku (7), ul. Wronieckiej, Ślusarskiej (po 5), Szkolnej i Wodnej (po 4). Wroniecka jest ulicą, która łączy się z Rynkiem bezpośrednio z jego północną częścią, jednakże niezagospodarowane lokale zostały spisane na północ od ul. Kramarskiej, w dwóch skupiskach. Szkolna i Wodna odchodzą od Rynku z jego krańców, w przypadku tej pierwszej pustostany znajdowały się naprzeciwko dużego, opuszczonego szpitala miejskiego, który ma być zagospodarowany pod zabudowę mieszkalną i usługową, w tym gastronomiczną (Bielicka, 2024). Ślusarska jest boczną ulicą, równoległą do płyty rynku, a 4 z 5 punktów znajdowało się między ul. Wielką a Woźną (na której, blisko Ślusarskiej, są 2 pustostany). Taka koncentracja wynika z małej atrakcyjności ulicy, która znajduje się pomiędzy ulicami lepiej wyglądającymi, dysponującymi dużą liczbą usług. Jak w 2014 roku najwięcej niezagospodarowanych lokali odnotowano na ul. Wronieckiej i Wodnej. Różnica jest w kwestii ul. Żydowskiej, gdzie spisano jeden taki punkt na rogu z ul. Kramarską. Są ulice, takie jak Paderewskiego i Jaskółcza, które nie miały wolnych lokali jak dekadę temu (Tanaś, 2015).



Ryc. 4. Rozmieszczenie przestrzenne działalności gospodarczych w podziale na sekcje PKD
Źródło: opracowanie własne.

Placówki gastronomiczne zostały odnotowane na całym badanym obszarze (ryc. 5A). Najwięcej ich było na Starym Rynku – 22, następnie na dwóch ulicach łączących się z nim, a więc na Wrocławskiej i Żydowskiej, gdzie takich lokali było 12. Na Wronieckiej i Szkolnej było 6. Również Parysek i Mierzejewska (2014) zidentyfikowali te ulice jako pasma z licznymi restauracjami. Są to drogi łączące z punktem centralnym w postaci rynku, ale i ulice, na które można się łatwo dostać z przystanków tramwajowych, takie rozłożenie można porównać do lokalizacji koncentryczno-radiacyjnej (Kaczorek, Kowalczyk, 2003). Bary oraz puby przeważnie są zlokalizowane na ul. Wrocławskiej (15), Szewskiej (7) oraz na rogu Żydowskiej i Mokrej (5). Na pierwszych dwóch ulicach tworzą układ pasmowy (Maik, 1992), a w ostatnim miejscu jest to model koncentryczny (Kaczorek, Kowalczyk, 2003).

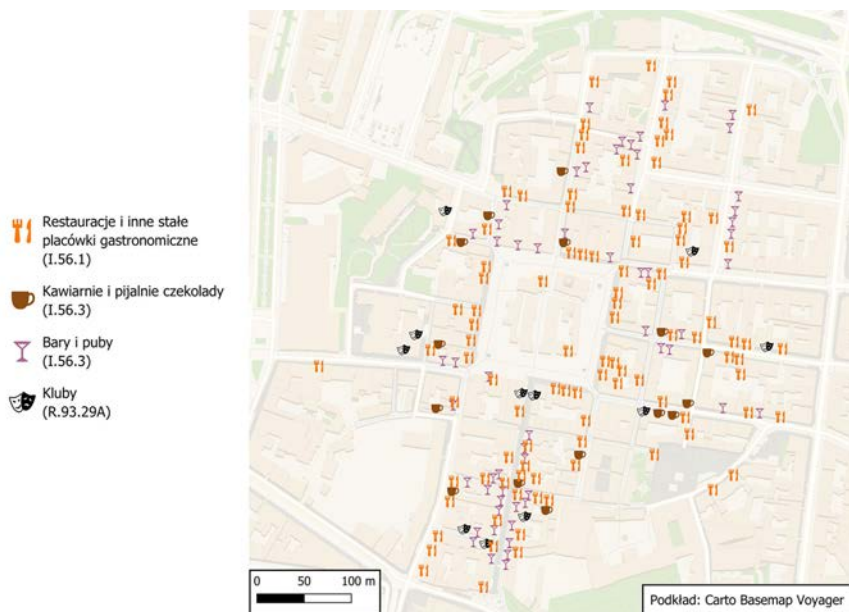
W przypadku kawiarni czy pijalni czekolad nie można stwierdzić jakiegoś wzorca rozmieszczenia. Znajdują się one na głównych ulicach, takich jak Wodna i Woźna, dzięki czemu są łatwo dostępne, bądź na bocznych (np. Gołębia, Rynkowa, Sieroca), które można uznać za mniej uczęszczane, w ten sposób dając klientom większy spokój, kosztem liczby gości. Większość klubów znajduje się na Wrocławskiej oraz Jaskółczej (5), czasem będąc w niedużej odległości od siebie.

Punkty noclegowe znajdują się na głównych ulicach (Wroniecka, Wrocławska, Ślusarska, Szewska, Wodna, Żydowska, Stawna, Woźna), na bocznych (Klasztorna, Gołębia, Kozia, Kramarska, Jaskółcza, Sieroca, Świętosławska) oraz na placu Kolegiackim (ryc. 5B).

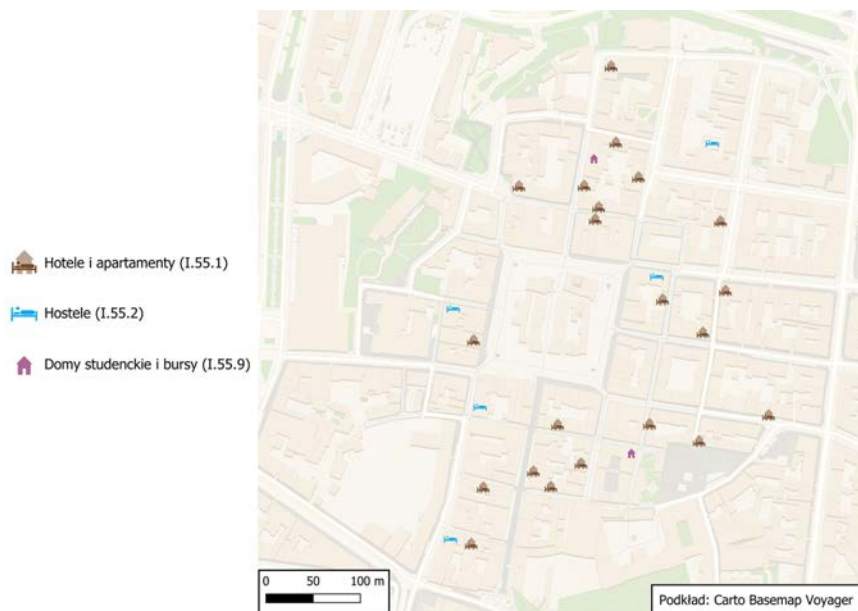
Na Starym Rynku znajdują się sklepy z pamiątkami, antykami, księgarnia i apteka (ryc. 5C). Pozostały handel detaliczny jest oddalony od płyty rynku, tworząc pięć miejsc skupień: pasmowy na ul. Paderewskiego i cztery koncentracje na rogu Szkolnej oraz Wrocławskiej z Podgórną, rogu 23 Lutego z Rynkową i Wielkiej z Szewską. Jest to związane z bliskością przystanków transportu zbiorowego na Podgórną, placu Wielkopolskim, Małych Garbarach i ul. Garbary. W przypadku ul. Paderewskiego są to luksusowe butikiki (Parysek, Mierzejewska, 2014), a obecność jubilerów przy nich może być umotywowana chęcią ulokowania obok prestiżowych lokali.

Działalności związane z fryzjerstwem i kosmetyką znajdują się m.in. na Szewskiej, Żydowskiej, Woźnej, Wodnej i w okolicy placu Kolegiackiego, w pewnym oddaleniu od Starego Rynku (ryc. 5D). Wynika to z orientacji transportowej, niedaleko placu Kolegiackiego jest przystanek autobusowy Grobla, a punkty na Szewskiej są blisko przystanków tramwajowych i autobusowych Małe Garbary. W momencie, gdy lokale te znajdują się blisko siebie, zazwyczaj są to lokale świadczące inne usługi, np. barber obok zabiegów kosmetycznych.

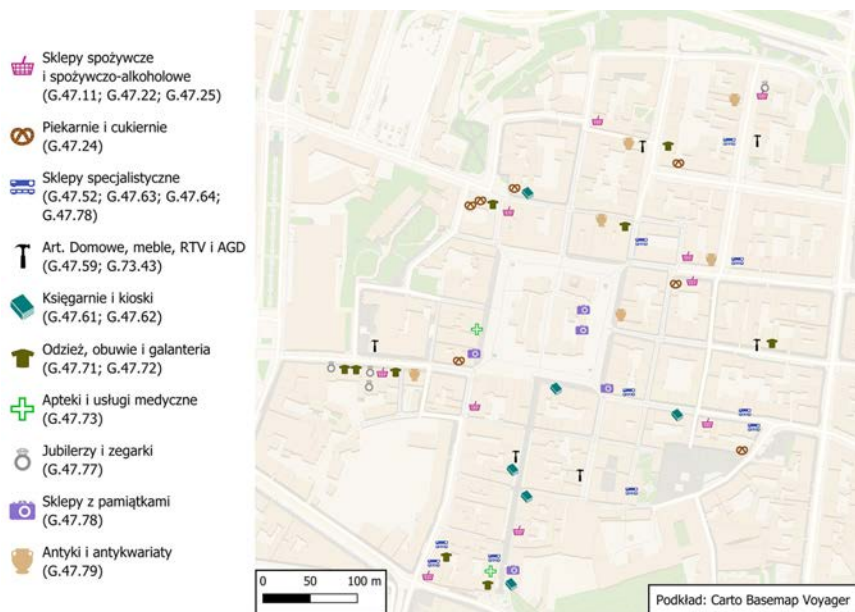
Ciekawe jest rozmieszczenie działalności pogrzebowej. Wszystkie lokale tego typu koncentrują się na ul. Woźnej, wynika to z charakteru branży, z której to usług korzysta się rzadko, a dzięki bliskości tych punktów, potencjalni klienci mogą sprawdzić ich ofertę.



Ryc. 5A. Rozmieszczenie przestrzenne działalności usługowej związanej z wyżywieniem i podawaniem napojów
Źródło: opracowanie własne.

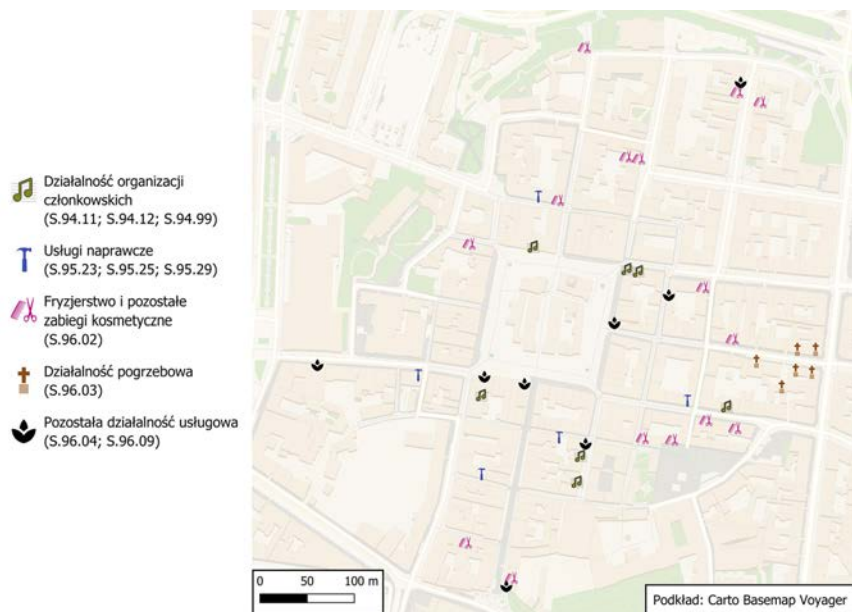


Ryc. 5B. Rozmieszczenie przestrzenne działalności usługowej związanej z zakwaterowaniem
Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 5C. Rozmieszczenie przestrzenne działalności usługowej związanej z handlem detalicznym

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 5D. Rozmieszczenie przestrzenne pozostałej działalności usługowej

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie

Na obszarze Starego Miasta główną formą działalności gospodarczej są usługi związane z zakwaterowaniem i gastronomią (sekcja I; 38,06%), a zwłaszcza restauracje i puby, które tworzą charakter tej części miasta. Placówki gastronomiczne znajdują się przeważnie na Starym Rynku, Wrocławskiej, Żydowskiej, Wronieckiej i Szkolnej, tworząc układ koncentryczno-radiacyjny. Od 2011 roku zauważalny jest wzrost liczby pubów, zlokalizowanych głównie pasmowo na Wrocławskiej i Szewskiej oraz koncentrycznie na rogu Żydowskiej i Mokrej, a także punktów noclegowych, choć zmniejsza się udział kawiarni.

Znaczącą rolę odgrywają też działalności profesjonalne (sekcja M; 12,31%), współtworzące usługi oparte na wiedzy (których łącznie było 27,4%) oraz dla biznesu (18,9%), reprezentowane głównie przez kancelarie prawne, w mniejszym stopniu biura rachunkowe i doradztwa finansowego. Kilka działalności tego typu jest zlokalizowanych w tym samym budynku bądź blisko siebie. Trzecią największą grupą działalności gospodarczych był handel detaliczny (G; 12,13%), choć w badanym okresie można zauważyć tendencję spadkową co do ich udziału. Spadł też udział banków, który można powiązać z wprowadzeniem w życie „Programu dla Śródmieścia”.

W 2024 roku nie odnotowano znaczącej liczby pustostanów w stosunku do 2014 roku, gdy na obszarze badanym przez Tanaś (2015) odpowiadały za 18,45% lokali. Wolne lokale znajdowały się na Starym Rynku, ulicach odchodzących od niego (Wroniecka, Kramarska i Wodna) oraz na bocznych uliczkach (Ślusarska). W porównaniu do badania Tanaś można odnotować, że są ulice, takie jak Wroniecka czy Wodna, charakteryzujące się problemem występowania pustostanów oraz trakty, takie jak Paderewskiego i Jaskółcza, na których nie było wolnych lokali w 2014 i 2024 roku.

Literatura

- Budner W., 2004, Lokalizacja przedsiębiorstw. Aspekty ekonomiczno-przestrzenne i środowiskowe, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu.
- Dominiak J., 2016, Rola otoczenia biznesu we wspieraniu przedsiębiorczości i innowacyjności gospodarki, Przykład Wielkopolski. *Przedsiębiorczość – Edukacja*, 12: 98–113 (<https://p-e.uken.krakow.pl/article/view/3140/2767>; dostęp: 31.03.2025).
- Dominiak J., 2017, Nowoczesne usługi a poziom rozwoju gospodarczego, *Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego*, 31(1): 81–96.
- Dominiak J., 2018, Zróżnicowanie poziomu rozwoju nowoczesnych usług w Polsce, *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, 41: 111–125.
- Dominiak J., 2022, Sektor usług w aglomeracji poznańskiej – zmiany w obliczu pandemii COVID-19, *Rozwój Regionalny i Polityka Regionalna*, 62: 31–45, <http://dx.doi.org/10.14746/rrpr.2022.62.03>
- Kaczmarek U., 2008, Usługi komercyjne w Poznaniu – struktura przestrzenno-funkcjonalna, *Space – Society – Economy*, 8: 79–93, <https://doi.org/10.18778/1733-310.08.08>

- Kaczorek A., Kowalczyk A., 2003, Modele lokalizacji usług gastronomicznych na obszarach miejskich, *Prace i Studia Geograficzne*, 32: 191–203.
- Kłosowski F., 2021, Podstawy geografii usług, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice (https://opus.us.edu.pl/docstore/download/@USLF9e4049ab32d48769db47a214b455f02/Klosowski_podstawy_geografii_uslug.pdf; dostęp: 31.03.2025).
- Maik W., 1992, Podstawy geografii miast, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Parysek J., Mierzejewska L., 2014, Życie miasta: studium Poznania. Infrastruktura miejska, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Tanaś J., 2015, Użytkowanie nieruchomości lokalowych w strefie centralnej Poznania, *Ruch Prawniczy, Ekonomiczny i Socjologiczny*, 1: 369–384.
- Wilk W., 2001, Czynniki lokalizacji i rozmieszczenie wybranych usług w Warszawie, Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
- Zagórski Z., 2008, Nazewnictwo geograficzne Poznania, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, s. 432–433. Zieliński Z., 1953, Rozwój terytorialny miasta oraz zabudowy Starego Rynku w Poznaniu, *Przegląd Zachodni*, 6–8: 254–274 (http://www.archiwum.pz.poznan.pl/Content/1258/C_II_472-C_II_473BP-1953_6-8_69.pdf; dostęp: 31.03.2025).

Źródła internetowe

- Bielicka M., 21.11.2023, Ambitnego planu na remont Starego Rynku w Poznaniu nie udało się zrealizować, *Wyborcza.pl* ([https://poznan.wyborcza.pl/poznan/7,36001,30429637,ambitny-plan-w-sprawie-starego-ryнку-nie-zostal-zrealizowany.html?fbclid=IwY2xjawFvQVlleHRuA2FlbQlXMAABHfm9aBV50VMXw1p8lCng1lIOx20LdktNk4G3zUnxGDvGK3-DXwkHKQselwQ_aem_paI93FuPMOp-7_F_L8_TMA](https://poznan.wyborcza.pl/poznan/7,36001,30429637,ambitny-plan-w-sprawie-starego-ryнку-nie-zostal-zrealizowany.html?fbclid=IwY2xjawFvQVlleHRuA2FlbQlXMAABHfm9aBV50VMXw1p8lCng1lIOx20LdktNk4G3zUnxGDvGK3-DXwkHKQselwQ_aem_paI93FuPMOp-7_F_L8_TMA;); dostęp: 31.03.2025).
- Bielicka M., 2.04.2024, Poszpitalne budynki przy ul. Szkolnej w Poznaniu mają nowych właścicieli. To dwa bardzo znane nazwiska, *Wyborcza.pl* (<https://poznan.wyborcza.pl/poznan/7,36001,30850845,poszpitalne-budynki-przy-ul-szkolnej-maja-nowych-wlascieli.html>; dostęp: 31.03.2025).
- Czekała F., 27.04.2024, Turyści nie przestraszyli się „Rozkopanego”. Poznań pobił swój rekord, *TVN24* (<https://tvn24.pl/poznan/turysci-nie-przestraszyli-sie-rozkopanego-poznan-pobil-swoj-rekord-st7888417>; dostęp: 31.03.2025).
- EPoznań.pl, 25.01.2024, „Naganiacze” z nocnych klubów na Starym Rynku coraz bardziej nachalni? „Było mi wstyd” (https://epoznan.pl/news-news-147250-naganiacze_z_nocnych_klubow_na_starym_rynku_coraz_bardziej_nachalni_bylo_mi_wstyd; dostęp: 31.03.2025).
- Głos Wielkopolski, 31.01.2019, Poznań: Kluby go-go nadal powstają, ale miasto nie chce się poddać (<https://gloswielkopolski.pl/poznan-kluby-gogo-nadal-powstaja-ale-miasto-nie-chce-sie-poddac/ar/13848844>; dostęp: 31.03.2025).
- GUS, 2025 (<https://stat.gov.pl/>; dostęp: 31.03.2025).
- Konieczna M., 22.06.2022, Plac Wolności przekształcony w strefę gastronomiczną. Dla restauratorów ze Starego Rynku to nowość, *Radio Poznań* (<https://radiopoznan.fm/informacje/pozostale/plac-wolnosci-przekształcony-w-strefe-gastronomiczna>; dostęp: 31.03.2025).
- Nyczka T., 19.10.2022, Poznań miał się pozbyć klubów go-go. A właśnie powstał nowy. I to naprzeciwko ratusza, *Wyborcza.pl. Poznań* (<https://poznan.wyborcza.pl/pozna>

- n/7,36001,29042079,poznan-mial-sie-pozbyc-klubow-go-go-a-wlasnie-powstal-nowy.html; dostęp: 31.03.2025).
- Pasławska M., 14.08.2023, Myśleliście, że Stary Rynek w Poznaniu jest długo remontowany? Prace w Ratuszu trwają jeszcze dłużej, Wyborcza.pl (<https://poznan.wyborcza.pl/poznan/7,36001,30065623,mysleliscie-ze-stary-rynek-w-poznaniu-jest-dlugo-remontowany.html>; dostęp: 31.03.2025).
- Paź Sz., 18.03.2024, Trwa wielkie mycie Starego Rynku w Poznaniu po remoncie! Czekaaliśmy na to lata, czy było warto? Sprawdź, ile to naprawdę trwało!, Głos Wielkopolski (<https://gloswielkopolski.pl/trwa-wielkie-mycie-starego-ryнку-w-poznaniu-po-remoncie-czekalismy-na-to-lata-czy-bylo-warto-sprawdz-ile-to-naprawde-trwalo/ar/c7-18366907>; dostęp: 31.03.2025).
- Ratajczak E., 25.03.2024, Cmentarzysko pustych lokali na Starym Rynku w Poznaniu. „Miasto straciło swoją duszę!”, Głos Wielkopolski (<https://gloswielkopolski.pl/cmentarzysko-pustych-lokali-na-starym-ryнку-w-poznaniu-miasto-stracilo-swoja-dusze-zobacz-galerie/ar/c7-18399949>; dostęp: 31.03.2025).
- Stare Miasto – Rada Osiedla Stare Miasto, 2024, Stare Miasto (http://staremiasto.poznan.pl/stare_miasto/; dostęp: 31.03.2025).
- Ufa Ch., 9.09.2024, Stary Rynek w Poznaniu miał być wolny od klubów go-go. Są, jest także nagabywanie! „To jest kabaret”, Głos Wielkopolski (<https://gloswielkopolski.pl/stary-rynek-w-poznaniu-mial-byc-wolny-od-klubow-go-go-sa-jest-takze-nagabywanie-to-jest-kabaret/ar/c1p2-26643615>; dostęp: 31.03.2025).
- Urząd Miasta Poznania, 2024a, Park Kulturowy (<https://www.poznan.pl/mim/main/o-parku-kulturowym,p,39836,39839.html>; dostęp: 31.03.2025).
- Urząd Miasta Poznania, 2024b, Program dla Śródmieścia (<https://www.poznan.pl/mim/wos/program-dla-srodmiescia-uchwalony,doc,1017,25325/program-dla-srodmiescia-uchwalony,62813.html>; dostęp: 31.03.2025).
- Urząd Miasta Poznania, 2024c, Stare Miasto – historia, Odnowa (<https://www.poznan.pl/mim/rewitalizacja/-,p,38552,38558,39073.html>; dostęp: 31.03.2025).
- Urząd Miasta Poznania, 2024d, Stary Rynek (<https://www.poznan.pl/mim/s8a/-,p,37,51,103.html>; dostęp: 31.03.2025).

Changes of the structure and the spatial distribution of business activity in the area of the Old Town in Poznań

Abstract: A paper is based on inventory carried out in January and the February of the year 2024. Has been gathered data about place and type of business activity. Basing on the results, the structure of enterprises has been discussed and compared with data from the 2011 and 2014 year. Has been presented spatial distribution of business activities and empty flats. Most common types of businesses were gastronomy (32,8%), professional, scientific and technical activities (12,3%) and retail trade (12,1%). Empty flats were making 8,2% of written flats. Gastronomy is the most common type of business in every studied year. Most of the restaurants were located on Old Town Square and main streets going from it: Wrocławska and Żydowska, making radiation-concentration system.

Keywords: Poznań, Old Town Square, Old Town, business activity, PKD

Załącznik

Aneks 1. Szczegółowa struktura działalności gospodarczych

PKD	Liczba obiektów	PKD	Liczba obiektów	PKD	Liczba obiektów
C.14.13	1	I.56.10.A	102	P.85.51	1
C.18.14	1	I.56.30	74	P.85.52	1
C.32.20	1	J.61.20	2	Q.86.21	1
C.32.99	1	J.62.01	2	Q.86.22	14
F.41.10	3	K.64.19	7	Q.86.23	1
F.43.21	1	K.66.12	1	Q.86.90.A	2
G.47.11	8	L.68.10	5	Q.86.90.B	1
G.47.22	1	L.68.20	1	Q.86.90.C	2
G.47.24	7	L.68.31	3	Q.86.90.E	11
G.47.25	1	L.68.32	2	Q.88.10	1
G.47.43	1	M.69.10	39	R.90.01	1
G.47.52	1	M.69.20	9	R.90.04	7
G.47.59	5	M.70.22	4	R.91.01.A	1
G.47.61	3	M.71.11	4	R.91.02	11
G.47.62	3	M.71.12	1	R.92.00	1
G.47.63	2	M.73.11	1	R.93.29.A	11
G.47.71	7	M.73.20	1	S.94.11	2
G.47.72	2	M.74.10	1	S.94.12	2
G.47.73	2	M.74.20	1	S.94.99	3
G.47.77	4	M.74.30	4	S.95.23	1
G.47.78	11	M.74.90	1	S.95.25	2
G.47.79	6	N.78.10	2	S.95.29	2
H.52.21	4	N.79.90.B	1	S.96.02	15
H.53.10	2	N.82.19	1	S.96.03	6
I.55.10	21	O.84.11	3	S.96.04	3
I.55.20	5	O.84.13	2	S.96.09	5
I.55.90	2	P.85.42	1	U.99	2

Źródło: opracowanie własne.

Sekcja Kształtowania i Ochrony Środowiska
Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Alicja Pawelska, Anna Michalska, Michalina Adasiak, Sara Koniec

Efektywność funkcjonowania systemu gospodarki odpadami miasta Międzyzdroje

Zarys treści: W niniejszym artykule przeanalizowano sposób, w jaki miasto Międzyzdroje zarządza odpadami w szczycie sezonu turystycznego, kiedy liczba odwiedzających znacząco wzrasta. Badania koncentrowały się na rozmieszczeniu i wypełnieniu pojemników na odpady w kluczowych dla turystów obszarach, obejmujących trzy wybrane trasy oraz Park Zdrojowy im. Fryderyka Chopina. Dane zbierano, stosując oprogramowanie QField i QGIS, co umożliwiło precyzyjne mapowanie lokalizacji koszy na odpady i określenie stopnia ich wypełnienia o różnych porach dnia. Wyniki wskazują, że największe trudności w utrzymaniu porządku pojawiały się w niedzielę i poniedziałek w godzinach wieczornych. Stwierdzono, że najintensywniej wypełnione pojemniki znajdowały się w okolicach plaży i na Promenadzie Gwiazd, co bezpośrednio wiązało się z wysoką liczbą turystów w tych miejscach. Ponadto jedynie 11,9% pojemników przeznaczono do segregacji odpadów, co stanowi istotne wyzwanie z perspektywy ich recyklingu i wywiązania się z zobowiązań gmin, jakie zostały narzucone przez ustawę o utrzymaniu czystości i porządku w gminach. W niektórych lokalizacjach stwierdzono występowanie „dzikich wysypisk”, co wskazuje na potrzebę lepszej organizacji systemu gospodarki odpadami. W konkluzji zaproponowano zwiększenie liczby pojemników, częstsze ich opróżnianie oraz lepsze wsparcie dla selektywnej zbiórki, co mogłoby poprawić efektywność całego systemu w okresie intensywnego ruchu turystycznego.

Słowa kluczowe: gospodarka odpadami, ruch turystyczny, zrównoważony rozwój, Międzyzdroje

Wstęp

Międzyzdroje to miasto zlokalizowane w północno-zachodniej Polsce, na wyspie Wolin, stanowi jedną z najbardziej rozpoznawalnych destynacji wypoczynkowych

nad Morzem Bałtyckim. Czynniki, które decydują o jego atrakcyjności turystycznej, są między innymi malownicze wybrzeża – zarówno niskie i piaszczyste, jak i klifowe – oraz dogodna dostępność komunikacyjna, obejmująca połączenie drogowe ze Świnoujściem i funkcjonującą stacją kolejową. W miesiącach letnich, zwłaszcza w lipcu i sierpniu, miasto odnotowuje gwałtowny wzrost liczby odwiedzających, co ilustrują dane Głównego Urzędu Statystycznego (GUS, 2024), wskazujące na 369,4 tys. noclegów udzielonych w 2024 roku na obszarze gminy Międzyzdroje.

Intensywny ruch turystyczny wpływa na rozwój bazy gastronomiczno-rozrywkowej, lecz jednocześnie generuje istotne wyzwania w zakresie gospodarowania odpadami komunalnymi. W miejscowościach nadmorskich występuje zjawisko sezonowości – w okresach poza szczytem turystycznym liczba wytwarzanych odpadów jest zdecydowanie mniejsza, dzięki czemu system zbiórki i wywozu bywa efektywny (BIP Międzyzdroje, 2024). Jednak w miesiącach letnich gwałtownie rośnie liczba wczasowiczów, co sprawia, że infrastruktura odpadowa, w tym liczba i rozmieszczenie koszy oraz częstotliwość ich opróżniania, często okazuje się niewystarczająca (Skorwider-Namietko, Skorwider-Namietko, 2016). W szczególności sposób zaznaczają się tu potrzeby związane z segregacją odpadów, której organizacja bywa utrudniona przez niejednolite przepisy i ograniczenia instytucjonalne (Styś i in., 2016).

Zarządzanie odpadami w kontekście lokalnym wymaga rozwiązań opartych na analizie realnych potrzeb i uwarunkowań, co uwzględnia się zazwyczaj w planach gospodarki odpadami (Dobrowolski, 2011; Wąsowicz i in., 2018). Aby jednak proponowane w nich mechanizmy były skuteczne, należy dysponować aktualnymi danymi zebranymi w newralgicznych okresach roku, kiedy napływ turystów jest największy i ujawniają się podstawowe trudności w utrzymaniu porządku. W świetle powyższych spostrzeżeń celem niniejszej pracy jest zbadanie efektywności systemu gospodarki odpadami w Międzyzdrojach w okresie największego nasilenia ruchu turystycznego oraz określenie, w jakim stopniu obecna infrastruktura odpadowa odpowiada na wyzwania związane z sezonowym wzrostem liczby odwiedzających.

Obszar badań

Badanie prowadzono na terenie miasta Międzyzdroje, zlokalizowanego w województwie zachodniopomorskim, w powiecie kamieńskim. Miasto usytuowane jest w centralnej części wyspy Wolin i wchodzi w skład regionu fizycznogeograficznego określanego mianem Pobrzeża Szczecińskiego (Richling i in., 2018). Ze względu na nadmorskie położenie, w granicach administracyjnych Międzyzdrojów występują zarówno niskie brzegi piaszczyste, charakterystyczne dla wybrzeża Bałtyku, jak i bardziej strome odcinki klifowe (Nędzka, Matlingiewicz, 2022). Tak urozmaicona linia brzegowa, w połączeniu z dogodnym połączeniem komunikacyjnym, w tym drogą wojewódzką (DW 102) do Świnoujścia oraz czynną stacją kolejową, sprzyja rozwojowi turystyki wypoczynkowej.

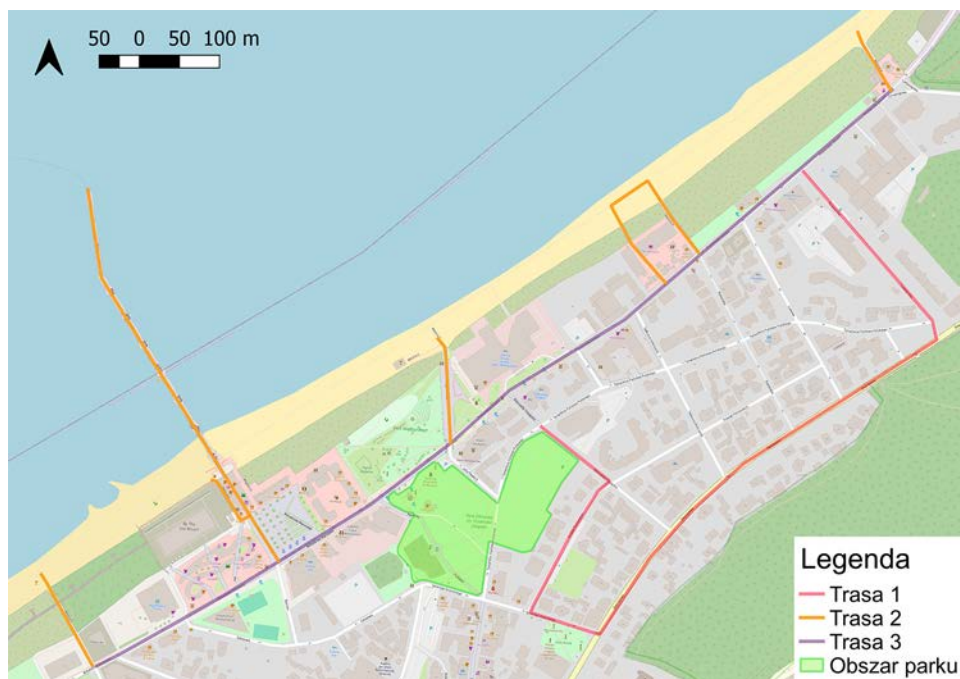
Dominującą funkcją miasta jest funkcja uzdrowiskowo-turystyczna, co przekłada się na znaczny wzrost liczby gości w okresie letnim. Intensywny napływ wczasowiczów skutkuje rozwojem infrastruktury usługowej, w tym licznych punktów gastronomicznych i obiektów rozrywkowych. W takim układzie przestrzennym, gdzie zabudowa koncentruje się wzdłuż wybrzeża morskiego i przyległych terenów rekreacyjnych, gromadzenie i wywóz odpadów stanowi szczególne wyzwanie. W sposób najbardziej odczuwalny ujawnia się ono w okolicach plaży, na głównych szlakach komunikacyjnych oraz na terenach rekreacyjnych, które w sezonie letnim przyciągają największą liczbę osób.

Zróżnicowana struktura funkcjonalna poszczególnych obszarów miejskich w Międzyzdrojach skłoniła autorów opracowania do wyodrębnienia kilku odmiennych pod względem dominującego użytkowania tras oraz dodatkowego obszaru parkowego. Pozwoliło to na przeanalizowanie zjawiska zarządzania odpadami komunalnymi w różnych częściach miasta oraz na uzyskanie pełniejszego obrazu efektywności funkcjonującego systemu gospodarki odpadami.

Cel pracy i metodyka badań

Głównym założeniem niniejszego opracowania było ustalenie, w jakim stopniu obecny system gospodarki odpadami w Międzyzdrojach odpowiada na wyzwania wynikające z intensywnego napływu turystów w okresie letnim. Przyjęto, że analiza powinna objąć zarówno kwestie związane z rozmieszczeniem pojemników na odpady, jak i częstotliwością ich opróżniania, a także z możliwością prowadzenia selektywnej zbiórki w miejscach najbardziej uczęszczanych przez gości i mieszkańców. Za istotny element uznano również obserwację rzeczywistych postaw użytkowników przestrzeni miejskiej, co pozwoliło na weryfikację, w jakim stopniu dostępna infrastruktura wpływa na praktyki związane z segregacją czy nielegalnym porzucaniem odpadów.

Zakres badań obejmował dni od 12 do 15 lipca 2024 roku, przypadające na szczyt sezonu turystycznego, co umożliwiło zaobserwowanie problemów z gromadzeniem i wywozem odpadów w najbardziej newralgicznym okresie. W wyznaczonych terminach prowadzono pomiary w terenie, obejmujące trzy różniące się funkcjonalnie trasy oraz obszar Parku Zdrojowego im. Fryderyka Chopina (ryc. 1). Długość każdej z tras wynosiła 1228 m, a teren parku zajmował powierzchnię 23 877,6 m². Podstawowym narzędziem badawczym służącym do inwentaryzacji pojemników na odpady była aplikacja QField, współdziałająca z projektem stworzonym w oprogramowaniu QGIS, co pozwoliło na geolokalizację każdej jednostki (pojemnika) i przypisanie jej atrybutów dotyczących rodzaju (segregacja lub odpady zmieszane) oraz poziomu zapełnienia w skali od 0 (pojemnik pusty) do 5 (pojemnik przepełniony). Każdą z tras kontrolowano dwa razy dziennie, w godzinach porannych i wieczornych, dzięki czemu możliwe było śledzenie dynamiki zmian w stopniu wypełnienia koszy w różnych porach doby oraz poszukiwanie ewentualnych prawidłowości powiązanych z rytmem aktywności turystycznej. Poza rejestrowaniem stanu zapełnienia pojemników



Ryc. 1. Rozmieszczenie badanych tras zaprezentowane na podkładzie mapowym OpenStreetMap

Fig. 1. Location of the study paths presented on the background based on OpenStreetMap

przeprowadzono także obserwacje wizualne dotyczące sposobu korzystania z koszy przez mieszkańców i turystów, w tym przypadków nielegalnego wyrzucania odpadów poza przeznaczonymi do tego miejscami. Wszystkie dane zgromadzone w terenie zostały następnie wprowadzone do systemu QGIS, co umożliwiło wykonanie analiz przestrzennych i statystycznych mających na celu rozpoznanie najczęstszych punktów problemowych oraz określenie przybliżonej skali przepełnienia koszy w kluczowych okresach doby. Rezultaty tych działań stały się podstawą do sformułowania wniosków i rekomendacji odnoszących się do podniesienia efektywności obecnego systemu gospodarki odpadami w Międzyzdrojach.

W celu rzetelnego i systematycznego zebrania danych o stanie pojemników na odpady zastosowano narzędzia GIS, co umożliwiło precyzyjne odwzorowanie realiów terenowych i usprawniło analizę przestrzenną. Podstawę stanowił projekt opracowany w środowisku QGIS, w którym przygotowano warstwy bazowe (obejmujące ortofotomapy, podkład OpenStreetMap oraz warstwy wektorowe, w tym punktowe informacje o potencjalnych lokalizacjach pojemników na odpady). Następnie projekt został przeniesiony do aplikacji QField, zainstalowanej na urządzeniach mobilnych (smartfonach) wyposażonych w odbiorniki GPS. Rozwiązanie takie pozwalało aktywnie śledzić trasę podczas pracy w terenie, a także precyzyjnie rejestrować położenie każdego napotkanego pojemnika.

Istotnym elementem pracy w aplikacji QField była możliwość geolokalizacji zdjęć, co umożliwiało dokumentowanie stanu wybranych pojemników za pomocą fotografii automatycznie opatrzonych współrzędnymi geograficznymi. Po zakończeniu prac terenowych dane zgromadzone w smartfonach były synchronizowane z projektem QGIS, przez co cały proces – od gromadzenia informacji w terenie, przez tworzenie dokumentacji fotograficznej, po analizę wyników – przebiegał w jednym, spójnym oprogramowaniu. Równolegle rejestrowane ślady GPS wyznaczały dokładny przebieg każdej z tras badawczych, co zapewniało wiarygodne przyporządkowanie sekwencji pomiarów do konkretnego miejsca i czasu.

W środowisku QGIS i Excel przeprowadzono następnie dalszą obróbkę i analizę wyników, obejmującą między innymi obliczenie statystyk opisujących zagęszczenie pojemników i częstość przepełnień. Dane wektorowe, ilustrujące rozkład przestrzenny i poziom zapelnienia koszy, zestawiono z innymi warstwami (takimi jak siatka dróg czy rozmieszczenie obiektów usługowych), co ułatwiło wnioskowanie o potencjalnych zależnościach między intensywnością ruchu turystycznego a stanem gospodarki odpadami.

Istotną rolę w zapewnieniu wiarygodności pomiarów i wysokiego stopnia udokumentowania badań odegrała możliwość stałego porównywania danych z pomiarów w czasie rzeczywistym z istniejącymi warstwami referencyjnymi oraz dokumentacją fotograficzną. Dzięki temu rezultaty uzyskane w terenie zostały wielokrotnie zweryfikowane zarówno przez samych badaczy, jak i na etapie analizy w QGIS, co pozwoliło ograniczyć ryzyko błędnej lokalizacji punktów czy nieprawidłowego przypisania wartości atrybutów do konkretnych pojemników. Połączenie danych ilościowych, w tym pomiarów zapelnienia inwentaryzowanych obiektów w różnych porach dnia, z materiałem fotograficznym zawierającym współrzędne przestrzenne zapewniło wysoki poziom transparentności przeprowadzonych działań badawczych. W efekcie otrzymano wieloaspektowy obraz funkcjonowania systemu gospodarki odpadami w badanym okresie, oparty na solidnych, zweryfikowanych danych terenowych oraz analizie przestrzennej w zintegrowanym środowisku GIS.

Główne kierunki badań

Gospodarka odpadami jest nieodłącznym elementem funkcjonowania skupisk ludzkich na poziomie krajowym, regionalnym i lokalnym, przez co stanowi częsty temat analiz podejmowanych w literaturze naukowej. Podobnie jak w niniejszym badaniu, wiele analiz koncentruje się na skali miasta (Kołcz, Ziółko, 2021), a także na poziomie gminy (Salamon, 2010; Macias, Piniarski, 2016). Prowadzone były również badania porównawcze miejsc o wspólnych cechach (Skorwider-Namietko, Skorwider-Namietko, 2016) oraz analizy w skali ogólnokrajowej (Ciechelska, 2016).

Miasta zlokalizowane na wyspie Wolin często stanowiły przedmiot zainteresowania badaczy. Zawężając analizę literatury do prac dotyczących Międzyzdrojów, można zauważyć, że badania obejmowały zwykle nie tylko sam obszar miasta,

lecz także całą gminę (Abramowicz, Woźniewicz, 2019; Andrzejak i in., 2019). Tak szerokie podejście wynika zazwyczaj z charakteru analizowanego zagadnienia – w szczególności w przypadku badań dotyczących środowiska przyrodniczego, które nie podlega granicom administracyjnym. Kompleksowe ujęcie umożliwia wówczas pełniejsze zrozumienie problematyki.

Autorzy niniejszego badania ograniczyli się do obszaru miasta Międzyzdroje, co było podyktowane antropogenicznym charakterem analizowanego zjawiska oraz częstotliwością prowadzonych inwentaryzacji, która uniemożliwiała objęcie większego obszaru w tym samym czasie. Wzięto pod uwagę również turystyczny charakter przybrzeżnej części miasta, gdzie koncentruje się znacząca część ruchu odwiedzających.

W pracach naukowych dotyczących funkcjonowania gospodarki odpadami dominują dwie główne metody badawcze. Autorzy najczęściej korzystają z analizy danych pozyskanych z różnych źródeł, takich jak: Bank Danych Lokalnych, biuletyny informacji publicznej, urzędy czy dokumenty programowo-planistyczne (Ciechelska, 2016; Skorwider-Namiołko, Skorwider-Namiołko, 2016). Część badaczy uzupełnia te analizy badaniami społecznymi, takimi jak ankiety czy wywiady (Salamon, 2010; Macias, Piniarski, 2016; Kołcz, Ziółko, 2021).

Zastosowana w niniejszym badaniu metoda inwentaryzacji terenowej nie została dotychczas szerzej opisana w literaturze dotyczącej gospodarki odpadami, co czyni ją cennym uzupełnieniem dotychczasowych podejść. Metoda ta umożliwia ocenę efektywności działań podejmowanych przez miasto oraz identyfikację konkretnych obszarów problemowych, zauważalnych bezpośrednio przez mieszkańców i turystów.

Tematyka skuteczności funkcjonowania systemu gospodarki odpadami nie była dotychczas podejmowana w odniesieniu do Międzyzdrojów. W literaturze odnaleźć można jednak analizy dotyczące sposobów naliczania opłat w całym powiecie kamieńskim (Dusza-Zwolińska i in., 2018) oraz oddziaływania lokalnego składowiska odpadów na środowisko naturalne (Daniszewski, Draszawka-Bołzan, 2012). Niniejsze badanie stanowi zatem nowe ujęcie problemu, które nie powiela wcześniejszych ustaleń.

Wyniki

W przeprowadzonych badaniach zdecydowano się na wyodrębnienie trzech tras o równej długości (1228 m) oraz dodatkowego obszaru Parku Zdrojowego im. Fryderyka Chopina. Taki podział umożliwił objęcie zróżnicowanych przestrzeni miasta, różniących się natężeniem ruchu turystycznego, charakterem zabudowy oraz typem użytkowania.

Pierwszą trasę wybrano w taki sposób, aby reprezentowała oddalone od plaży ulice, na których dominuje funkcja mieszkaniowa, zlokalizowane są obiekty usługowo-handlowe i ruch turystyczny nie jest intensywny. Drugą trasę poprowadzono wzdłuż głównych zejść na plażę i w okolicach mola, gdzie generowana jest największa liczba odpadów związana z korzystaniem z plaży i ofertą gastronomiczną.

Trzecia trasa obejmowała Promenadę Gwiazd oraz ul. Bohaterów Warszawy – centralny ciąg atrakcji turystycznych i gastronomicznych, będący kluczową strefą aktywności wczasowiczów.

Dodatkowym obszarem badawczym został Park Zdrojowy im. Fryderyka Chopina, który stanowi teren zieleni miejskiej, o powierzchni przekraczającej 23 tys. m². Wybór tego fragmentu umotywowany był próbą zbadania, czy w przestrzeni parkowej, pełniącej funkcję wypoczynkowo-rekreacyjną, pojawiają się te same problemy z przepełnieniem pojemników, co w rejonach o wyraźnie wzmożonym ruchu turystycznym.

Przyjęte rozróżnienie na trzy trasy i obszar parku pozwoliło uzyskać przekrojowy obraz funkcjonowania systemu gospodarki odpadami w całym mieście i dostrzec, jak różny charakter użytkowania przestrzeni wpływa na intensywność generowania odpadów oraz zapotrzebowanie na infrastrukturę do ich gromadzenia.

Trasa 1

Trasa nr 1 o długości 1,23 km przebiega wzdłuż ulic: Turystycznej, Zwycięstwa, Ignacego Krasickiego, Książąt Pomorskich oraz Romualda Traugutta. Zlokalizowano na niej 16 pojemników na odpady (ryc. 2), w tym 5 przeznaczonych do segregacji (31,25% całości) i 11 na odpady zmieszane (68,75%). Średni dystans między poszczególnymi pojemnikami w przybliżeniu wynosi około 80 m.

Analiza zapełnienia pojemników na tej trasie wskazuje, że poziom był najczęściej niski. Mediana wartości odnotowanych podczas pomiarów wyniosła 1, co oznacza, że w większości przypadków kosze wypełnione były na poziomie 0–25%. Porównanie danych z poszczególnych dni tygodnia wykazało jednak pewne wahania. Najwyższe przepełnienia odnotowano w niedzielę 14 lipca, gdy aż 7 spośród 16 pojemników (43,75%) osiągnęło ponadprzeciętny poziom zapełnienia, przy czym 6 wykazało najwyższe wartości w godzinach wieczornych. Najmniejszy stopień zapełnienia wystąpił z kolei w poniedziałek 15 lipca – ponownie 7 koszy (43,75%) odnotowano wtedy na niskim bądź bardzo niskim poziomie napełnienia, utrzymującym się przez cały dzień.

Za problemowe uważano pojemniki, w których poziom zapełnienia przynajmniej raz sięgnął 75–100% lub przekroczył 100%. Za szczególnie problematyczne uznano te, w których stan zapełnienia na poziomie co najmniej 75–100% wystąpił więcej niż jeden raz. Na całej długości trasy zaobserwowano 9 takich pojemników (56,25% wszystkich), spośród których 3 okazały się szczególnie problematyczne (18,75% ogółu pojemników; 33,33% w obrębie pojemników problemowych) (ryc. 3). W koszach dominowały przede wszystkim plastikowe butelki, niedopałki papierosów, chusteczki oraz opakowania po żywności i napojach (zarówno plastikowe, jak i papierowe)

Trasa 2

Na trasie nr 2 (1,23 km) zarejestrowano łącznie 107 pojemników na odpady, z czego 10 (9,35%) przeznaczone było do segregacji (fot. 1), a pozostałe 97



Ryc. 2. Rozmieszczenie pojemników na badanych obszarach zaprezentowane na podkładzie mapowym OpenStreetMap

Fig. 2. Spatial distribution of waste bins within the defined study area presented on the background based on OpenStreetMap

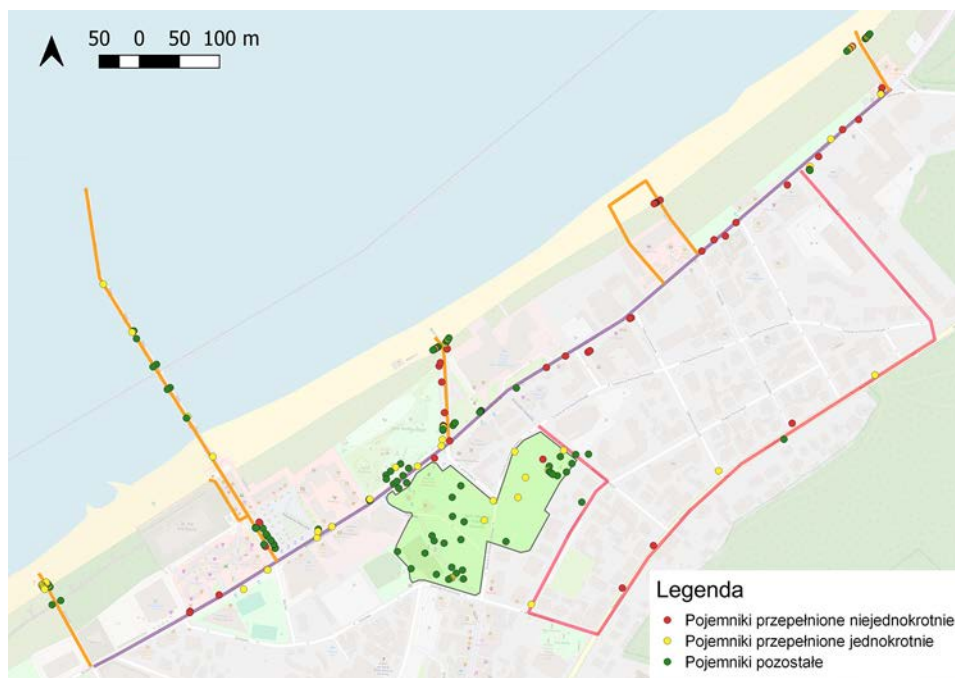
(90,65%) do odpadów zmieszanych. Z analizy długości poszczególnych odcinków wzdłuż tej trasy i rozmieszczenia samych pojemników wynika, że średnia odległość między kolejnymi koszami wynosi 13,19 m.



Fot. 1. Pojemniki przeznaczone do segregacji odpadów przy trasie numer 2 (fot. Anna Michalska)

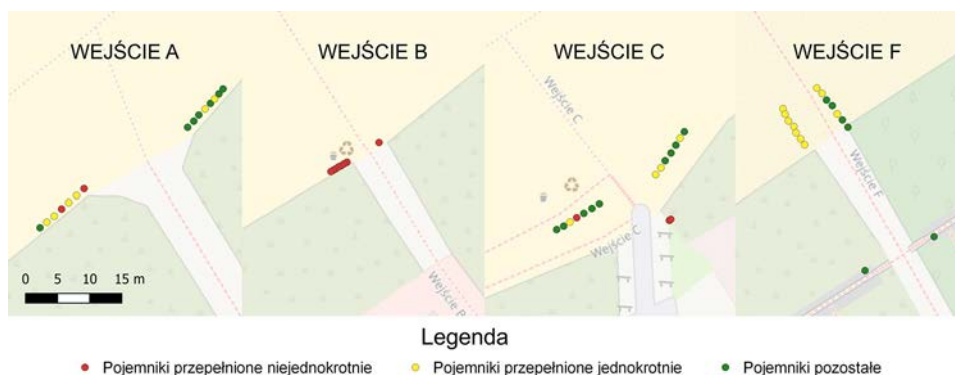
Photo 1. Waste segregation bins by study path number 2

Mediana wypełnienia pojemników na całej trasie wyniosła 1, co odpowiada zapełnieniu na poziomie 0–25%. Najwyższe przepełnienia odnotowano 14 lipca (niedziela) oraz 15 lipca (poniedziałek), przy czym kulminacyjny poziom pojawiał się głównie w godzinach wieczornych. W niedzielę 14 lipca zaobserwowano 22 pojemniki (20,56% wszystkich), które osiągnęły wysokie wskaźniki napełnienia, z czego 17 (77,27%) było nadmiernie przepełnionych. Z kolei 15 lipca dotyczyło to aż 44 pojemników (41,12% wszystkich), a 22 spośród nich (50%) osiągnęło stan wyraźnego przepełnienia. Najniższe poziomy wypełnienia wystąpiły 13 lipca



Ryc. 3. Rozmieszczenie pojemników problematycznych na badanych obszarach zaprezentowane na podkładzie mapowym OpenStreetMap

Fig. 3. Spatial distribution of problematic waste bins within the defined study area presented on the background based on OpenStreetMap



Ryc. 4. Rozmieszczenie pojemników problematycznych przy badanych zejściach na plażę zaprezentowane na podkładzie mapowym OpenStreetMap

Fig. 4. Spatial distribution of problematic waste bins at selected beach access locations presented on the background based on OpenStreetMap

(sobota), kiedy aż 55 koszy (51,4% wszystkich) utrzymywało się w stanie niskiego lub bardzo niskiego zapełnienia przez cały dzień.

Na całej długości trasy zaobserwowano 48 pojemników problemowych, co stanowi 44,86% ogółu koszy. Spośród nich 24 (22,43% wszystkich pojemników)

uznano za wielokrotnie problemowe, czyli obejmujące 47,92% grupy pojemników problemowych (ryc. 4). Najwięcej takich jednostek odnotowano przy wejściach na plażę (wejście A, wejście B, wejście F) oraz w okolicach Alei Gwiazd.

Główną zawartość tych pojemników stanowiły butelki i puszki po napojach, jednorazowe naczynia papierowe i plastikowe, styropianowe oraz plastikowe opakowania po żywności, a także pozostałości dziecięcych zabawek plażowych (połamane wiaderka i łopatki), kapsle i plastikowe nakrętki butelek.

Trasa nr 3

Trasa nr 3, obejmująca Promenadę Gwiazd oraz ul. Bohaterów Warszawy, ma długość 1,23 km i została wyposażona w 48 pojemników przeznaczonych wyłącznie na odpady zmieszane. Rozmieszczono je średnio co 26 m. Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że mediana wypełnienia pojemników na tej trasie kształtowała się na poziomie 2, czyli 25–50%.

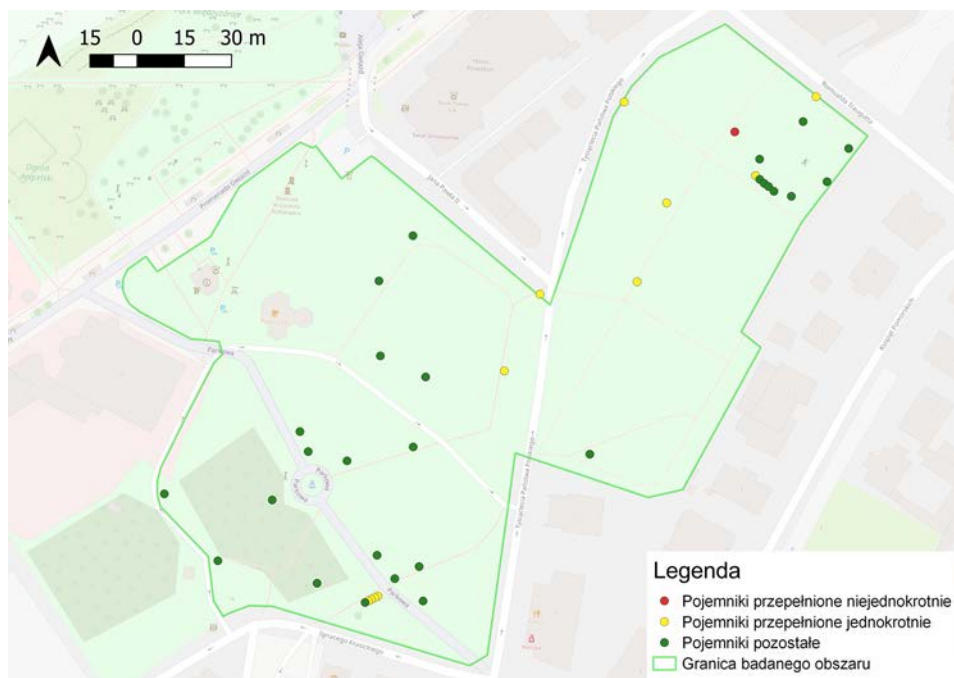
Najwyższe napełnienie odnotowano w niedzielę (14.07) i poniedziałek (15.07), przy czym momenty kulminacyjne przypadały na godziny wieczorne i były widoczne we wszystkie dni, z wyłączeniem piątku. W niedzielę zaobserwowano 20 przepełnionych koszy (41,66% wszystkich), a 11 spośród nich (55%) osiągnęło stan wyraźnego przepełnienia. Z kolei 15 lipca tak wysoki poziom wypełnienia dotyczył 24 pojemników (50% całości), a w 12 spośród nich (50%) wystąpiło nadmierne przepełnienie. Najniższe wskaźniki zanotowano w piątek 12 lipca, kiedy 15 koszy (31,25% wszystkich) utrzymywało się na niskim bądź bardzo niskim poziomie zapełnienia przez cały dzień.

Na trasie nr 3 zidentyfikowano 33 pojemniki problemowe, co stanowi 63,46% ogółu koszy. W tej grupie 21 uznano za wielokrotnie problematyczne (40,38% wszystkich pojemników, 63,63% spośród problemowych). W pojemnikach dominowały opakowania po napojach, opakowania po żywności (papierowe i plastikowe), niedopałki papierosów, chusteczki, paragony, plastikowe sztucce, kapsle oraz resztki jedzenia.

Obszar Parku Zdrojowego im. Fryderyka Chopina

Na analizowanym obszarze Parku Zdrojowego im. Fryderyka Chopina zarejestrowano łącznie 39 pojemników, z czego 10 (25,64%) przeznaczonych było do segregacji odpadów, a pozostałe 29 (74,36%) na odpady zmieszane. Powierzchnia tego terenu wynosi 23 877,6 m². Mediana stopnia zapełnienia koszy wyniosła 1, co wskazuje na niskie wypełnienie (0–25%) w większości przypadków.

Najwyższy poziom zapełnienia odnotowano w niedzielę 14 lipca, kiedy 7 pojemników (17,95% wszystkich) wykazywało wartości powyżej średniej, przy czym w jednym z nich (2,56%) stwierdzono nadmierne przepełnienie (14,29% w obrębie zapełnionych pojemników). Z kolei najniższe wypełnienie koszy miało miejsce w piątek 12 lipca, gdy 18 (46,15%) z nich utrzymywało się na niskim bądź bardzo niskim poziomie przez cały dzień.



Ryc. 5. Rozmieszczenie pojemników problematycznych w parku zaprezentowane na podkładzie mapowym OpenStreetMap

Fig. 5. Spatial distribution of problematic waste bins in the park presented on the background based on OpenStreetMap

Na badanym obszarze parku zidentyfikowano 12 pojemników problematycznych (30,77% ogółu). Wśród nich tylko jeden (2,56% wszystkich) został uznany za wielokrotnie problematyczny, co odpowiada 8,33% w obrębie grupy pojemników problematycznych (ryc. 5).

Najczęściej występującymi rodzajami odpadów w pojemnikach na tym obszarze były plastikowe i szklane opakowania po napojach, plastikowe oraz papierowe opakowania po żywności, chusteczki i serwetki, a także drewniane patyczki po lodach i niedopałki papierosów.

Zestawienie dla wszystkich tras i obszaru parku

Największą liczbę pojemników na odpady zarejestrowano na trasie nr 2, gdzie doliczono się 107 koszy, następnie na trasie nr 3 (48) i na obszarze parku (39) (tab. 1). Najmniej wystąpiło na trasie nr 1, zaledwie 16. Suma wszystkich pojemników obecnych w badanych miejscach wyniosła 210. Wśród nich zaledwie 25 (11,9%) było przystosowanych do selektywnej zbiórki, a pozostałe 185 (88,1%) służyły do odpadów zmieszanych. Najwięcej koszy do segregacji odpadów odnotowano na trasie nr 2 oraz w Parku Zdrojowym im. Fryderyka Chopina, po 10 w każdej lokalizacji. Trasa nr 1 miała 5 koszy do segregacji, natomiast trasa nr 3 była ich

całkowicie pozbawiona. Biorąc pod uwagę liczbę wszystkich pojemników na poszczególnych obszarach, trzeba stwierdzić, że najlepiej zaopatrzone w kosze do recyklingu okazały się trasa nr 1 oraz teren parku.

Tabela 1. Zestawienie tras

Table 1. Study path compilation

Trasa	Liczba pojemników	Udział procentowy pojemników do segregacji	Udział procentowy pojemników problemowych	Dzień największego zapełnienia	Dzień najmniejszego zapełnienia
1	16	31,25%	56,25%	niedz.	pon.
2	107	9,35%	44,86%	niedz. i pon.	sob.
3	48	0%	63,46%	niedz. i pon.	pt.
Park	39	25,64%	30,77%	niedz.	pt.

Spśród 210 zarejestrowanych pojemników aż 102 (48,57%) sklasyfikowano jako problemowe. Największą grupę tych koszy zaobserwowano na trasie nr 2 (48), kolejną na trasie nr 3 (33). Pojemniki wielokrotnie problematyczne, czyli takie, które częściej niż raz osiągały wysokie lub skrajne przepełnienie, stanowiły 49 sztuk (48,04% w grupie problemowych). Najwięcej z nich – 24 – znajdowało się na trasie nr 2, a 21 na trasie nr 3. Dane te potwierdzają, że to właśnie w tych dwóch częściach miasta kosze na odpady były najbardziej narażone na przepełnienia.

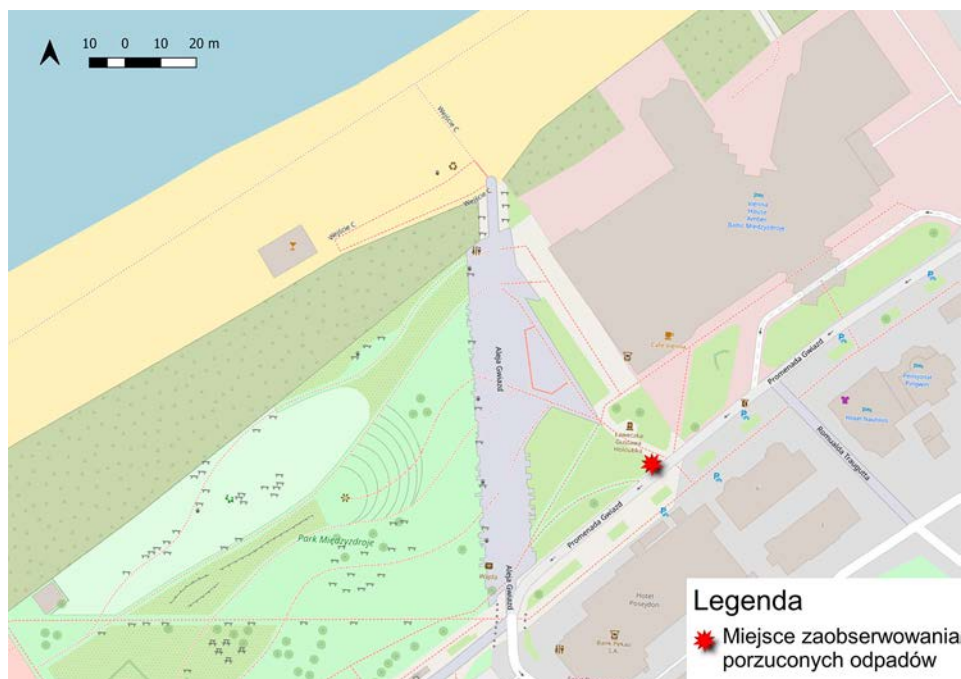
Na wszystkich badanych obszarach zaobserwowano wyraźne różnice między stanem porannym a wieczornym. W godzinach porannych najczęściej występowały kosze puste lub wypełnione w niewielkim stopniu, natomiast najwyższe poziomy przepełnienia obserwowano zazwyczaj wczesnym wieczorem (ok. 17:00–18:00). Pod względem dni tygodnia szczególnie niewłaściwym okresem okazały się niedziela i poniedziałek, przy czym poniedziałkowy charakter dnia roboczego nie wpływał znacząco na zmniejszenie ilości generowanych odpadów, co może świadczyć o dalszym utrzymywaniu się intensywnego ruchu turystycznego.



Fot. 2. Porzucone odpady przy Promenadzie Gwiazd (fot. Anna Michalska)

Photo 2. Abandoned waste at the Avenue of Stars

Zauważono również pewne regularności w zakresie wywozu odpadów. 13 lipca 2024 roku (sobota), około godziny 18:50, zaobserwowano opróżnianie koszy na Promenadzie Gwiazd (trasa nr 3), natomiast 14 lipca 2024 roku (niedziela) około godziny 18:14 działania te miały miejsce przy wejściu na plażę F. Wskazuje to na wieczorny harmonogram odbioru odpadów, który jednak okazał się niewystarczający w kontekście częstych przepełnień w innych porach dnia.



Ryc. 6. Lokalizacja porzuconych odpadów zaprezentowana na podkładzie mapowym OpenStreetMap

Fig. 6. Location of abandoned waste presented on the background based on OpenStreet-Map

W piątek 12 lipca 2024 roku (ok. 17:30) na Promenadzie Gwiazd ujawniono odpady porzucone poza pojemnikami (fot. 2, ryc. 6). Następnego dnia usunięto je i ustawiono w tym miejscu cztery wolnostojące kosze, które podczas inwentaryzacji były puste, jednak finalnie zostały zlikwidowane po jednym dniu. Epizod ten dobrze obrazuje problemy z niedostateczną dostępnością lub zbyt małą liczbą koszy, zwłaszcza w miejscach o wzmożonym ruchu turystycznym.

Wnioski

Międzyzdroje, jako jeden z najchętniej wybieranych nadmorskich kurortów w Polsce, doświadcza w okresie letnim znacznego wzrostu liczby wczasowiczów i związanych z tym problemów wzmożonego strumienia odpadów generowanych przez licznych turystów. Wyniki badań terenowych wskazują, że najpoważniejszym problemem lokalnego systemu gospodarki odpadami pozostaje nadmierne przepełnianie pojemników. Świadczy to o potencjalnie zbyt małej ich liczbie lub też zbyt rzadkim opróżnianiu. Jednocześnie zauważono, że do największych przepełnień dochodziło głównie w godzinach wieczornych, gdy ruch turystyczny był najbardziej intensywny, przez co służby komunalne nie zawsze nadążały z wywozem nagromadzonych odpadów. W wyniku przepełnienia pojemników

niejednokrotnie dochodziło do zaśmiecania tras turystycznych i nielegalnej ich depozycji, szczególnie przy trasach prowadzących na plażę oraz na Promenadzie Gwiazd, czyli w miejscach o najwyższej koncentracji punktów gastronomicznych i rozrywkowych.

Drugą istotną kwestią jest niski odsetek pojemników dostosowanych do segregacji. Zaledwie 11,9% wszystkich koszy zostało przystosowanych do selektywnej zbiórki, co wyraźnie ogranicza możliwości poprawnej segregacji oraz późniejszego recyklingu. Dla przykładu trasa nr 3 (Promenada Gwiazd, ul. Bohaterów Warszawy) była całkowicie pozbawiona zbiorników do segregacji odpadów.

Kolejnym problemem jest nierównomierne rozmieszczenie samych pojemników. Na trasie nr 2 zostały ustawione w średnich odstępach rzędu 13 m, z kolei na trasie nr 1 ta wartość była pięciokrotnie większa i sięgała około 77 m. W praktyce doprowadziło to do szybkiego przepełnienia pojemników w miejscach o szczególnie wysokim natężeniu ruchu turystycznego, powodując jednocześnie tworzenie się niewielkich „dzikich wysypisk” w pobliżu przepełnionych koszy. Na kilku newralgicznych obszarach próbowano rozwiązać ten problem, dostawiając dodatkowe, tymczasowe kosze, jednak tego typu doraźne działania, mimo że idą w dobrym kierunku, nie nadążały za potrzebami turystów.

Na podstawie badania terenowego, w tym obserwacji i weryfikacji wywozu odpadów o stałych porach, stwierdzono, że system odbioru odpadów jest prowadzony w sposób racjonalny, choć okazuje się niewystarczający w okresie wzmożonego ruchu turystycznego. Maksymalne przepełnienia występowały krótko przed zaplanowanym odbiorem, co sugeruje konieczność zwiększenia częstotliwości opróżniania koszy lub zwiększenia ich liczby w weekendy oraz wieczorami, gdy intensywność generowania odpadów jest największa – przede wszystkim w pobliżu lokali gastronomicznych i wzdłuż ścieżek turystycznych.

Wyniki badań wskazują na potrzebę usprawnienia systemu gospodarki odpadami w Międzyzdrojach w miesiącach letnich. W obliczu intensywnego obciążenia turystycznego rekomenduje się przede wszystkim wykorzystanie większej liczby pojemników do segregacji i ich wyraźne oznakowanie, a potencjalnie także częstsze opróżnianie pojemników. Jednocześnie może to stanowić problem, gdyż dodatkowe pojazdy wywożące odpady w godzinach szczytu mogą powodować utrudnienia w ruchu. Wydaje się więc, że bardziej efektywnym rozwiązaniem jest wprowadzenie większej liczby pojemników, jak również zadbanie o ich rozmieszczenie w sposób dostosowany do intensywności ruchu turystycznego, co pozwoli uniknąć przepełnień i nielegalnych wysypisk. Ponadto warto rozważyć wzmocnienie działań edukacyjnych, podnoszących świadomość ekologiczną wśród mieszkańców i turystów. Szczególnie istotne byłoby wprowadzenie w kluczowych lokalizacjach gniazd do selektywnej zbiórki odpadów z czytelnym oznakowaniem, umożliwiającą bieżącą segregację podczas przemieszczania się wczasowiczów po mieście.

Literatura

- Abramowicz D., Woźniewicz Z., 2019, *Formy ochrony przyrody w mieście i gminie Międzyzdroje*. Geoprzestrzeń, Poznań.
- Andrzejak A., Miszczak A., Roszkiewicz S., 2019, *Zagrożenie i ryzyko powodziowe na terenie miasta i gminy Międzyzdroje*, Geoprzestrzeń, Poznań.
- Biuletyn Informacji Publicznej Urzędu Miejskiego w Międzyzdrojach, 2024, *Analiza stanu gospodarki odpadami komunalnymi w Gminie Międzyzdroje za rok 2023, stan na kwiecień 2024 r.*
- Ciechelska A., 2016, *Analiza skuteczności i zrównoważenia polskiego systemu gospodarki odpadami komunalnymi*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 454: 31–44. <https://doi.org/10.15611/pn.2016.454.03>
- Daniszewski P., Draszawka-Bołzan B. 2012. Wpływ składowiska odpadów na środowisko naturalne w Międzyzdrojach, *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, 3: 67–72.
- Dobrowolski G., 2011, *Decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach*. Dom Organizatora, Toruń.
- Duda T., 2019, *Raport z analizy potencjału turystyczno-kulturowego powiatu kamieńskiego*, Turystyka Kulturowa, 3 (maj–czerwiec 2019).
- Dusza-Zwolińska E., Saran E., Kowalewska K., 2018, *Problem kształtowania przez gminy opłat za gospodarowanie odpadami*, *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 20(1): 11–20.
- Główny Urząd Statystyczny, 2024, *Turystyczne obiekty noclegowe na obszarach nadmorskich w lipcu i sierpniu 2024 r.*
- Kołcz E., Ziółko M., 2021, *System gospodarki odpadami – ocena i analiza zadowolenia i świadomości mieszkańców Krakowa*, *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie*, 4(994): 67–84.
- Macias A., Piniarski W., 2016, *Municipal Solid Waste Management Problems on a Local Scale: A Case Study from Rural Poland*, *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(4): 1623–1632. <https://doi.org/10.15244/pjoes/62111>
- Nędra A., Matlingiewicz S., 2022, *Ocena atrakcyjności turystycznej wybranych miejscowości nadmorskich w Polsce*, *Studia Geographica*, 18.
- Richling A., Solon J., Macias A., Balon J., Borzykowski J., Kistowski M. (red.), 2021, *Regionalna geografia fizyczna Polski*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Sala K., 2021, *Odpady plastikowe jako istotne źródło zagrożenia dla środowiska naturalnego*.
- Salamon J., 2010, *Analiza systemu gospodarki odpadami komunalnymi w gminie Bochnia*, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 13: 41–49.
- Skorwider-Namietko A., Skorwider-Namietko J., 2016, *Poziom rozwoju gospodarki odpadami na obszarach atrakcyjnych turystycznie*, *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, Wrocław.
- Styś T., Foks R., Moskwik K., 2016, *Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2030*.
- Wąsowicz K., Famielec S., Chełkowski M., 2018, *Gospodarka odpadami komunalnymi we współczesnych miastach*, Fundacja Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, Kraków.

Effectiveness of the waste management system in Międzyzdroje

Abstract: This article analyzes how Międzyzdroje manages its waste during the peak tourist season when the number of visitors increases significantly. The study focused on the distribution and filling levels of waste bins in areas most frequented by tourists, covering three selected urban routes and Chopin Spa Park. Data were collected between July 12 and 15, 2024, using QField and QGIS software, which enabled precise mapping of bin locations and the determination of their filling levels at different times of the day. The findings indicate that the greatest challenges in maintaining cleanliness occurred on Sundays and Mondays, particularly in the evening. It was observed that the most heavily filled bins were located near the beach and along the Avenue of Stars (Promenada Gwiazd), which directly correlates with the high volume of tourists in these areas. Moreover, only 11.9% of the bins were designated for waste segregation, posing a significant challenge from a sustainable development perspective. In some locations, illegal dumping sites were also found, highlighting the need for improved waste management. In conclusion, the study recommends increasing the number of bins, emptying them more frequently, and providing greater support for selective waste collection. These measures, if implemented, could not only enhance the system's overall efficiency during periods of heavy tourist traffic but also lead to a cleaner and more sustainable environment, offering hope for a better future.

Keywords: waste management, tourist traffic, sustainable development, Międzyzdroje

Sekcja Kształtowania i Ochrony Środowiska
Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

*Karolina Romanowicz, Paulina Gadacz, Alicja Pawelska,
Oliwia Kapuścińska, Sara Koniec*

Świadomość ekologiczna wśród turystów i mieszkańców miasta Międzyzdroje

Zarys treści: Międzyzdroje to popularna miejscowość turystyczna, a dynamicznie postępujący tam rozwój turystyki powoduje też rosnące obciążenie środowiska przyrodniczego. Celem projektu było zbadanie poziomu świadomości ekologicznej wśród mieszkańców oraz turystów odwiedzających Międzyzdroje. Skupiono się na analizie ich postaw i zachowań ekologicznych, a także na opracowaniu strategii edukacyjnych, które mogłyby przyczynić się do wzrostu tej świadomości. Badania przeprowadzono metodą ankietową, oceniając wiedzę respondentów o lokalnych zagrożeniach środowiskowych oraz ich gotowość do podejmowania działań proekologicznych. Uzyskane wyniki pokazują, że chociaż większość ankietowanych deklaruje troskę o środowisko, ich realne nawyki często odbiegają od tych oświadczeń. W artykule wskazano główne bariery utrudniające zmianę zachowań oraz przedstawiono propozycje działań edukacyjnych, które mogą wspierać zrównoważony rozwój turystyki w regionie.

Słowa kluczowe: świadomość ekologiczna, turystyka, Międzyzdroje, antropopresja, zrównoważony rozwój

Wstęp

Południowe wybrzeże Bałtyku, ze szczególnym uwzględnieniem wyspy Wolin, stanowi jeden z najczęściej odwiedzanych regionów turystycznych w Polsce (Musiaka, 2014). Intensywny ruch turystyczny koncentruje się głównie w Międzyzdrojach, które są jednym z najważniejszych nadmorskich kurortów przyciągających turystów zarówno z kraju, jak i z zagranicy. Międzyzdroje wraz ze Świ-

noujsiem, Wiselką, Międzywodziem oraz Dziwnowem tworzą sieć kluczowych ośrodków wypoczynkowych na wyspie Wolin (Żyto, 2020).

W szczycie sezonu letniego liczba turystów na wyspie Wolin gwałtownie wzrasta, osiągając około 90 000 osób. Liczba ta znacznie przewyższa liczbę stałych mieszkańców, wynoszącą około 30 000 osób (wios.szczecin.pl). Dynamiczny rozwój turystyki istotnie wpływa na lokalną gospodarkę, generując nowe miejsca pracy oraz zwiększając dochody mieszkańców. Jednocześnie intensywne użytkowanie wyspy przez turystów powoduje poważne wyzwania środowiskowe.

Oprócz presji wynikającej z obecności turystów oraz powiązanej z nią działalnością gospodarczej obszar wyspy Wolin charakteryzuje się specyficznymi zagrożeniami naturalnymi. Wybrzeże wyspy, w dużej mierze klifowe, cechuje się różnorodnością morfologiczną oraz dynamicznymi procesami erozji i akumulacji. Aktywność człowieka, w tym intensywne użytkowanie pasa nadmorskiego oraz budowa urządzeń chroniących brzegi klifowe, znacząco ingeruje w naturalny przebieg procesów środowiskowych (Kostrzewski i in., 2021). W związku z powyższym autorzy dostrzegają konieczność zbadania poziomu świadomości ekologicznej osób korzystających z wybrzeża, zarówno mieszkańców, jak i turystów odwiedzających Międzyzdroje.

Dotychczasowe badania wskazują na istotne różnice w podejściu do kwestii ochrony środowiska między mieszkańcami wyspy a turystami. Jak zauważa Gąbiński (2014), turyści rzadziej niż mieszkańcy czy organy administracji publicznej podejmują realne działania proekologiczne. Mimo deklarowanej troski o środowisko jedynie niewielki odsetek turystów (ok. 5%) dostrzega rzeczywisty związek między swoimi podróżami a ich wpływem na środowisko przyrodnicze.

Celem niniejszego badania jest szczegółowa analiza świadomości ekologicznej zarówno mieszkańców, jak i turystów odwiedzających wyspę Wolin. Zrozumienie ich postaw, zachowań oraz czynników determinujących zaangażowanie w ochronę środowiska jest niezbędne do wypracowania skutecznych strategii wspierających zrównoważony rozwój turystyki (Krupa, 2014). Analiza obejmuje między innymi poziom wiedzy respondentów na temat lokalnych problemów środowiskowych, identyfikację barier w podejmowaniu działań proekologicznych oraz ocenę efektywności dotychczas wdrażanych inicjatyw środowiskowych.

Autorzy oczekują, że wyniki badań dostarczą cennych informacji lokalnym władzom samorządowym, przedsiębiorcom sektora turystycznego oraz mieszkańcom. Pozwoli to na skuteczniejsze planowanie działań prośrodowiskowych oraz strategii zrównoważonego rozwoju turystyki na wyspie Wolin. Szczególny nacisk położono na edukację ekologiczną, promowanie dobrych praktyk ekologicznych w branży turystycznej oraz rozwój infrastruktury sprzyjającej ochronie środowiska przyrodniczego.

Metodyka badań

W celu zgromadzenia danych służących analizie świadomości ekologicznej turystów oraz mieszkańców przebywających w Międzyzdrojach w okresie wakacyj-

nym zastosowano metodę ankietową, typową dla badań społecznych (Szyjewski, 2018). Metoda ta należy do badań jakościowych (Mroczko, 2014). Dane pozyskano podczas obozu badawczego zorganizowanego przez Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego w Białej Górze, który odbył się w dniach od 12 do 16 lipca 2024 roku. W wyniku ankietyzacji zebrano 248 kwestionariuszy – 220 od turystów oraz 28 od mieszkańców. Wśród respondentów dominowały kobiety (66,9%), natomiast mężczyźni stanowili 33,1% badanych. Uzyskana próba respondentów jest największą spośród podobnych badań ankietowych realizowanych dotychczas w Międzyzdrojach, dostępnych w literaturze naukowej (Ciążela, Roszak, 2018; Abramowicz i in., 2019; Roszak, Ciążela, 2022).

Do realizacji badania wykorzystano specjalnie przygotowany kwestionariusz ankiety. Część wspólna dla wszystkich respondentów obejmowała przede wszystkim pytania dotyczące zachowań i działań mających bezpośredni wpływ na środowisko przyrodnicze. Badano między innymi preferencje w zakresie wyboru środka transportu oraz podejmowane i zaniechane aktywności mające na celu zmniejszenie negatywnego wpływu na środowisko. Respondentów pytano także o ich spostrzeżenia odnoszące się do stanu czystości plaż oraz obecnych w Międzyzdrojach zagrożeń środowiskowych (Kłos, 2015). Ostatnia część kwestionariusza sprawdzała wiedzę ankietowanych na temat rozwiązań ograniczających antropopresję oraz gotowość do indywidualnych wyrzeczeń na rzecz środowiska przyrodniczego.

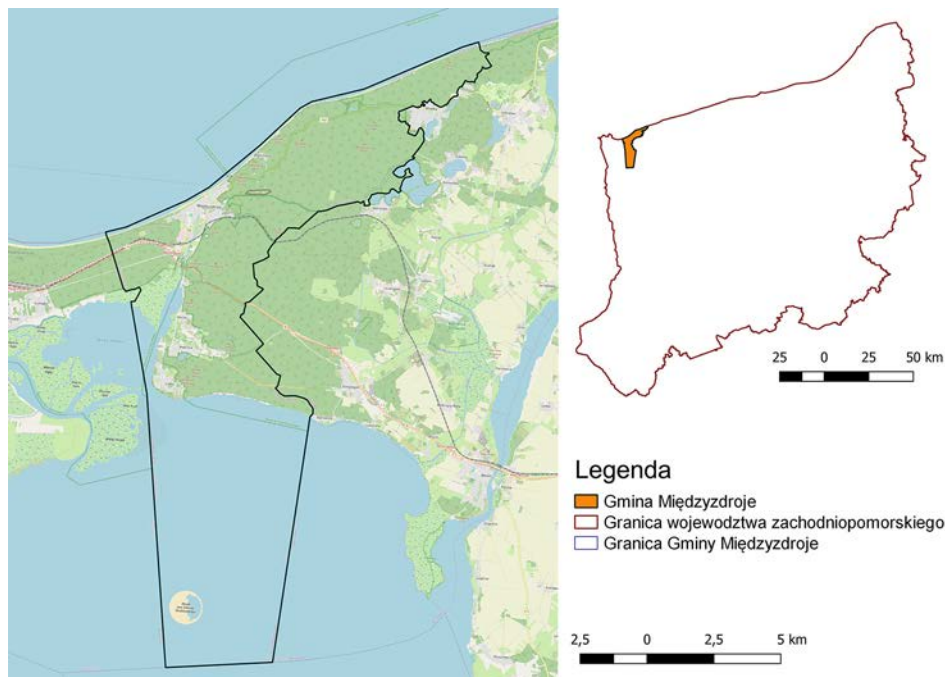
Dodatkowy zestaw pytań skierowany był wyłącznie do mieszkańców Międzyzdrojów. Poza oceną stanu lokalnego środowiska przyrodniczego oraz wyrażeniem obaw dotyczących przyszłości miejscowości, respondenci oceniali również swój poziom zaangażowania w działania społeczne oraz skuteczność działań podejmowanych przez władze lokalne.

Ankiety przeprowadzono w formie terenowej, anonimowej i jednorazowej (Szyjewski, Szyjewski, 2017). W większości przypadków pytania były odczytywane respondentom przez ankietatorów, pozostawiając im możliwość zgłoszenia własnych uwag i refleksji. Niewielka część ankiet została wypełniona przez samych respondentów w formie papierowej lub cyfrowej.

Obszar badań

Międzyzdroje to nadmorskie miasto w północno-zachodniej Polsce, w województwie zachodniopomorskim, powiecie kamieńskim. Stanowi siedzibę gminy miejsko-wiejskiej Międzyzdroje (ryc. 1). Miasto usytuowane jest na wyspie Wolin nad Morzem Bałtyckim, w bezpośrednim sąsiedztwie Wolińskiego Parku Narodowego. W 2024 roku zamieszkiwały je 4842 osoby, natomiast całą gminę Międzyzdroje – 5974 osoby (Bank Danych Lokalnych, 2025).

Według podziału fizycznogeograficznego Polski (Richling i in., 2021) obszar ten położony jest w Europie Środkowej, w podobszarze Niziny Środkowoeuropejskiej, makroregionie Pobrzeża Szczecińskiego oraz mezoregionie Wyspy Uznam i Wolin. Teren ten charakteryzuje się dużą różnorodnością



Ryc. 1. Lokalizacja gminy Międzyzdroje na podkładzie mapowym OpenStreetMap na tle granic województwa zachodniopomorskiego
 Źródło: Państwowy Rejestr Granic, GUGiK (2025).

Fig. 1. Location of Międzyzdroje Commune presented on the OpenStreetMap background relative to the West Pomeranian Voivodeship border

krajobrazową, obejmując zarówno wybrzeże klifowe, jak i nizinne obszary morenowe i akumulacyjne (fot. 1). Miasto znajduje się na północnym krańcu wyspy Wolin, będącej częścią Pojezierza Pomorskiego, oddzielonej od stałego lądu Cieśniną Dziwny. W północnej części miasta dominuje wysokie wybrzeże klifowe, z najwyższym wzniesieniem – górą Gosań (95 m n.p.m.). Południowa część przechodzi natomiast w obszary nizinne pochodzenia polodowcowego oraz tereny podmokłe w pobliżu Zalewu Szczecińskiego.

Istotny wpływ na warunki hydrodynamiczne badanego obszaru wywiera Zatoka Pomorska. W pobliżu Międzyzdrojów znajduje się także delta Świny, składająca się z licznych kanałów, jezior i obszarów bagiennych, będących częścią ekosystemu Zalewu Szczecińskiego. Pobrzeże wyspy Wolin podlega intensywnym procesom akumulacji oraz erozji, które znacząco oddziałują na kształtowanie się wybrzeża klifowego oraz plaż.

Międzyzdroje bezpośrednio graniczą z obszarem Wolińskiego Parku Narodowego, chroniącego unikalne ekosystemy nadmorskie i leśne. Wśród najcenniejszych elementów przyrodniczych znajdują się lasy bukowe, jeziora polodowcowe oraz słone bagna i torfowiska. Szczególne znaczenie mają występujące tutaj buczyny storczykowe, których struktura jest bliska lasom o charakterze naturalnym.



Fot. 1. Klif w Międzyzdrojach (fot. Alicja Pawelska – 13.07.2024)

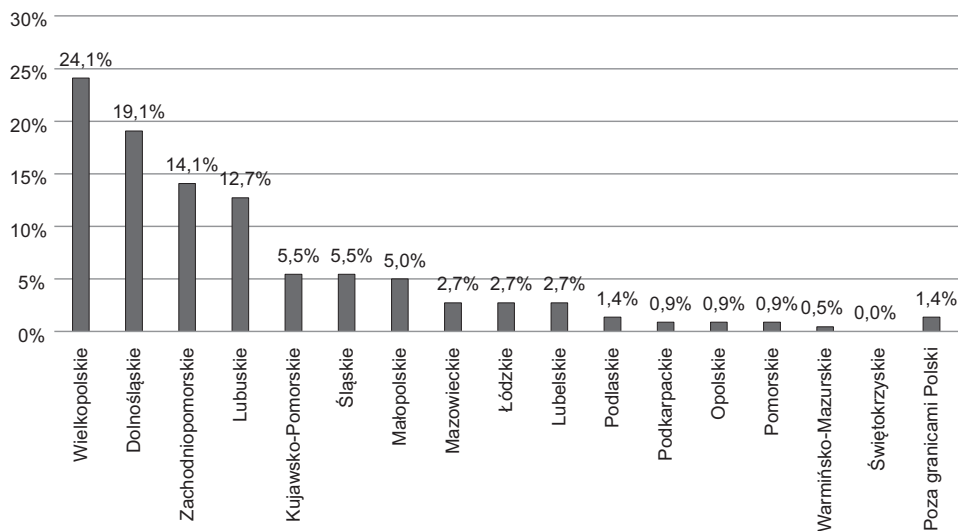
Photo 1. Coastal cliff of Międzyzdroje

Wyniki

Spośród 220 ankietowanych turystów 65,5% stanowiły kobiety, a 34,5% mężczyźni. Najwięcej turystów pochodziło z województw: wielkopolskiego (24,1%), dolnośląskiego (19,1%), zachodniopomorskiego (14,1%) oraz lubuskiego (12,7%) (ryc. 2). Najliczniejszą grupę wiekową stanowili respondenci w wieku 18–24 lata (31,8%). Drugą co do liczebności grupę tworzyły osoby powyżej 65 roku życia (20,5%). Udział osób poniżej 18 roku życia wynosił 9,5%, w przedziale wiekowym 35–44 lata znajdowało się 15,5% ankietowanych, natomiast grupa wiekowa 55–64 lata obejmowała 12,3% respondentów. Najmniej liczne grupy stanowili respondenci w przedziałach 25–34 lata (5,5%) oraz 45–54 lata (5%).

Fakt odwiedzania nadmorskich miejscowości turystycznych raz w roku zadeklarowało 42,3% respondentów. Rzadziej niż raz w roku robi to 24,1% ankietowanych, kilka razy w roku – 25,9%, a 7,7% odwiedza morze co najmniej raz w miesiącu. Zdecydowana większość badanych (92,7%) wybiera się nad morze głównie w sezonie letnim.

Na pytanie: „Który raz jesteś w Międzyzdrojach?” 25,9% respondentów odpowiedziało, że pierwszy raz, 41,4% odwiedziło miasto od 2 do 5 razy, a 32,7%



Ryc. 2. Udział respondentów z poszczególnych województw
 Fig. 2. Proportion of respondents from individual voivodeships

respondentów odwiedziło je ponad 5 razy. Najczęściej wybieranym środkiem transportu podczas podróży nad morze był samochód (46,8%), następnie pociąg (39,5%), autobus (12,7%) oraz inne środki transportu (0,9%).

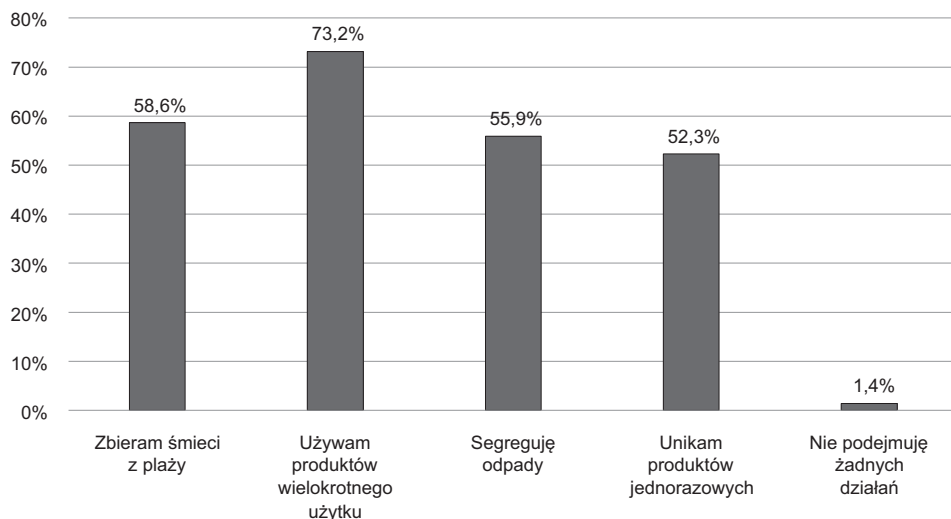
Analiza nawyków ekologicznych wykazała, że ponad połowa turystów (56,8%) zawsze zwraca uwagę na segregację odpadów podczas pobytu nad morzem, 24,1% czyni to często, a 14,5% czasami. Jedynie 4,1% robi to rzadko, a 0,5% nigdy. Podobne wyniki uzyskano w pytaniu dotyczącym codziennej segregacji odpadów poza okresem wakacyjnym – 58,6% ankietowanych deklaruje, że zawsze segreguje odpady, 29,5% – często, 9,1% – czasami, natomiast po 1,4% – rzadko lub nigdy.

Ocena stanu czystości plaż była zróżnicowana – 45,5% respondentów uznało plaże za czyste, 34,1% za średnio czyste, a 14,1% za bardzo czyste. Odpowiedzi „brudne” (5,5%) oraz „bardzo brudne” (0,9%) były najrzadziej wybierane.

Na pytanie: „Czy korzystasz z ofert ekoturystycznych?” ponad połowa turystów (57,3%) odpowiedziała, że nigdy z nich nie korzysta. Kolejnymi wskazywanymi odpowiedziami były: „rzadko” (16,8%) oraz „tak, czasami” (15,9%). Odpowiedzi „często” i „zawsze” uzyskały po 5%.

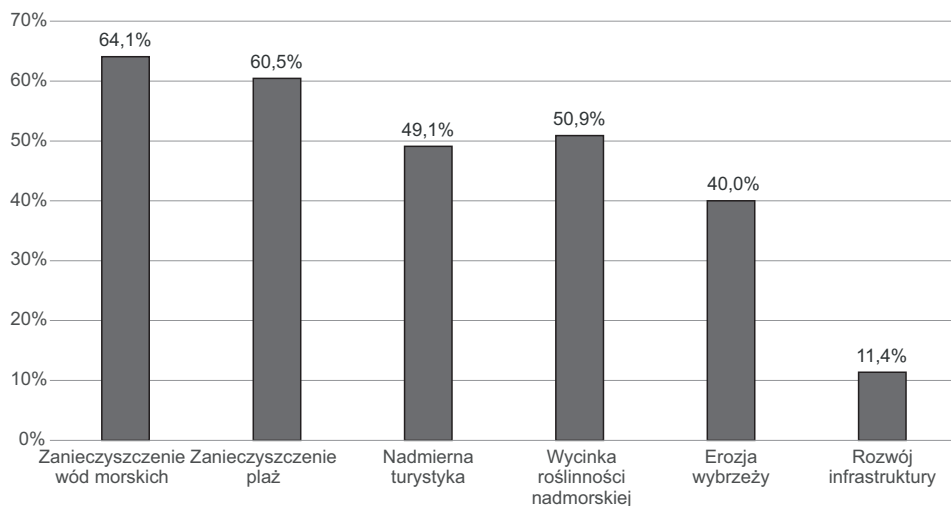
Zapytani o podejmowane w trakcie pobytu nad morzem działania ekologiczne, respondenci wskazali: zbieranie śmieci z plaży (ok. 59%), korzystanie z produktów wielokrotnego użytku (ponad 70%), unikanie produktów jednorazowych (ponad 52%) oraz segregację odpadów (prawie 56%). Jedynie 1,4% respondentów nie podejmuje żadnych działań proekologicznych (ryc. 3).

W kolejnym pytaniu dotyczącym zagrożeń środowiskowych na obszarach nadmorskich respondenci najczęściej wskazywali zanieczyszczenie wód morskich oraz plaż. Blisko połowa badanych wymieniła nadmierną turystykę, ponad 50% – wycinkę roślinności nadmorskiej, 40% – erozję wybrzeży, a ponad 11% – rozwój infrastruktury jako poważne zagrożenia (ryc. 4).



Ryc. 3. Działania ekologiczne podejmowane przez turystów

Fig. 3. Ecological actions taken by tourists



Ryc. 4. Największe zagrożenia środowiskowe według turystów

Fig. 4. Most significant environmental threats according to tourists

Na pytanie porównawcze dotyczące czystości środowiska („Porównując Międzyzdroje do Twojej miejscowości, gdzie stan czystości środowiska jest lepszy?”) aż 43,6% respondentów miało trudności z oceną. Ankietowanych twierdzących, że w Międzyzdrojach jest czystiej niż w ich miejscowości było 36%, a 26,4% uznało odwrotnie.

Znaczna większość badanych (86,8%) popiera rozwój odnawialnych źródeł energii, 7,3% nie ma zdania, a 5,9% nie popiera takich działań.

Około 47% ankietowanych jest gotowych płacić więcej za produkty i usługi ekologiczne, około 32% nie wykazuje takiej gotowości, a 21% jest niezdeterminowanych.

Ze względu na małą liczebność odpowiedzi uzyskanych od mieszkańców (11,3% wszystkich wyników) próbę uznano za niereprezentatywną. Zdecydowano o przedstawieniu w sposób opisowy generalnych wniosków wynikających z przeprowadzonych ankiet.

Uogólniając, mieszkańcy ocenili stan środowiska przyrodniczego w Międzyzdrojach jako średni. Wśród największych zagrożeń wymieniali: zanieczyszczenie wód morskich i plaż, nadmierną turystykę oraz wycinkę roślinności nadmorskiej, a także erozję wybrzeża.

Niewielu mieszkańców uczestniczy aktywnie w lokalnych inicjatywach ekologicznych, część respondentów nawet nie wiedziała o ich istnieniu. Wszyscy deklarują jednak podejmowanie działań proekologicznych, najczęściej wymieniając segregację odpadów, zbieranie śmieci z plaży oraz unikanie produktów jednorazowych. Kilku mieszkańców wskazało dodatkowo oszczędzanie wody i energii.

Mieszkańcy popierają działania lokalnych władz na rzecz ochrony środowiska, uznając za priorytetowe: ochronę wód morskich, rozwój terenów zielonych oraz edukację ekologiczną mieszkańców i turystów. Nieco mniej niż połowa mieszkańców jest przeciwna podwyższeniu podatków lokalnych na ochronę środowiska, choć niektórzy wykazali dużą gotowość do takiego działania.

Respondenci krytycznie oceniali nadmierną rozbudowę infrastruktury turystycznej oraz zbyt dużą liczbę atrakcji niezwiązanych z morzem. Często postulowano zwiększenie liczby koszy do segregacji śmieci, co miałyby poprawić utrzymanie czystości miasta przy dużym natężeniu ruchu turystycznego.

Dyskusja

Badanie przeprowadzone na wyspie Wolin miało na celu ocenę poziomu świadomości ekologicznej mieszkańców oraz turystów, a także ich zaangażowania w działania proekologiczne. Wśród 220 ankietowanych turystów dominowały kobiety (65,5%), a najwięcej respondentów pochodziło z województw wielkopolskiego, dolnośląskiego, zachodniopomorskiego oraz lubuskiego. Największe grupy wiekowe stanowili młodzi dorośli (18–24 lata) oraz osoby powyżej 65 roku życia. Większość respondentów deklarowała, że odwiedza nadmorskie miejscowości turystyczne raz lub kilka razy w roku, głównie w sezonie letnim.

Zdecydowana większość turystów (59,6%) oceniała stan czystości plaż jako czysty lub bardzo czysty, jednak 34,1% ankietowanych określiło go jako średni. Ponad połowa respondentów (56,8%) deklarowała regularną segregację odpadów podczas pobytu nad morzem. Mimo to oferty ekoturystyczne nie cieszyły się popularnością – aż 57,3% respondentów nigdy z nich nie korzystało. Za najpoważniejsze zagrożenia dla środowiska przyrodniczego respondenci najczęściej uznawali zanieczyszczenie wód morskich i plaż oraz nadmierną turystykę. Przegląd literatury wskazuje, że jest to zjawisko „attitude-behavior gap” w turystyce ekologicznej. Opisali je m.in. Juvan i Dolnicar (2014) oraz Antimova i in. (2012).

W badaniu przeprowadzonym wśród mieszkańców (28 osób) najważniejszymi wskazanymi problemami środowiskowymi były: zanieczyszczenie wód morskich, nadmierna turystyka oraz wycinka roślinności nadmorskiej. Choć mieszkańcy powszechnie deklarowali poparcie dla działań proekologicznych, niewielu aktywnie angażowało się w lokalne inicjatywy środowiskowe. Najczęściej podejmowanymi działaniami były segregacja odpadów oraz zbieranie śmieci z plaży. Respondenci wyrażali także niezadowolenie związane z nadmiernego rozwoju infrastruktury turystycznej oraz wskazywali na niewystarczającą liczbę koszy do segregacji odpadów jako istotny problem. Respondenci wymieniali zanieczyszczenie plaż i wód morskich oraz nadmierną turystykę jako największe zagrożenia. Problemy te odpowiadają obserwacjom w badaniach Nowackiego i Kowalczyk-Anioł (2022), którzy identyfikują je jako kluczowe wyzwania środowiskowe na obszarach nadmorskich.

Mieszkańcy deklarowali poparcie dla działań ekologicznych, ale tylko część angażowała się w praktyczne inicjatywy – takie rozbieżności są zgodne z koncepcją luki postaw i zachowań (Blake, 1999; Kollmuss, Agyeman, 2002). Badania pokazują, że czynniki, takie jak ograniczone zasoby, brak infrastruktury czy efekt zgodności społecznej, często utrudniają przełożenie świadomości na działania (Kollmuss, Agyeman, 2002; Antimova i in., 2012).

Należy zaznaczyć, że badanie miało swoje ograniczenia. Podstawowym była niewielka liczba ankietowanych mieszkańców (28 osób), co uniemożliwiło sformułowanie bardziej uogólnionych wniosków reprezentatywnych dla całej lokalnej społeczności. Dodatkowo przewaga respondentów pochodzących z wybranych województw mogła wpłynąć na specyficzny profil badanych turystów. Kolejnym ograniczeniem była oparta na deklaracjach respondentów metodologia badań, co może powodować efekt zgodności społecznej (np. zawyżone deklaracje segregacji odpadów). Brakowało również danych porównawczych z innych obszarów o podobnym profilu turystycznym.

W związku z powyższym rekomenduje się przeprowadzenie dalszych badań ze zwiększeniem rozmiaru próby – większy zbiór danych pozwoli na uzyskanie wyższej reprezentatywności i analizę sezonową oraz demograficzną, jak wskazują badania Nowackiego i Kowalczyk-Anioł (2022). Ponadto Juvan i Dolnicar (2014) podkreślają, że badanie poprzez obserwację terenową lub eksperymenty pomoże zweryfikować deklaracje. Promocja ofert ekoturystycznych i edukacja (Dolnicar, 2020) oraz zwiększenie widoczności zielonych inicjatyw może poprawić skuteczność edukacji środowiskowej.

Wnioski

Uzyskane wyniki badań wskazują na stosunkowo wysoki poziom świadomości ekologicznej wśród turystów, szczególnie w odniesieniu do deklarowanej segregacji odpadów oraz ograniczania użycia produktów jednorazowych. Jednakże niski poziom zainteresowania ofertami ekoturystycznymi sugeruje, że świadomość

ta nie zawsze znajduje odzwierciedlenie w realnych wyborach konsumenckich i preferencjach turystów.

Wśród mieszkańców Międzyzdrojów zaobserwowano deklarowaną troskę o środowisko przyrodnicze, ale jednocześnie stosunkowo niewielkie zaangażowanie w lokalne inicjatywy ekologiczne. Może to wynikać z niedostatecznej promocji takich inicjatyw lub ograniczonych możliwości uczestnictwa w nich.

Wyraźne różnice w percepcji zagrożeń środowiskowych między mieszkańcami a turystami wskazują na potencjalny konflikt interesów. Mieszkańcy wyrażają obawy związane z negatywnymi konsekwencjami masowej turystyki oraz intensywnego rozwoju infrastruktury turystycznej, podczas gdy turyści rzadziej postrzegają te problemy jako poważne.

Wyniki wskazują, że pomimo ogólnie deklarowanej troski o środowisko, praktyczne działania podejmowane zarówno przez turystów, jak i mieszkańców pozostają niewystarczające. Wyraźnie widoczne są bariery ograniczające aktywne zaangażowanie w ekoturystykę oraz lokalne działania ekologiczne. Do najważniejszych należą niedostateczna infrastruktura umożliwiająca skuteczną segregację odpadów oraz rosnąca presja turystyczna na środowisko przyrodnicze.

Zaprezentowane wyniki badań mogą stanowić istotne źródło informacji dla władz lokalnych oraz organizacji zajmujących się ochroną środowiska, przyczyniając się do opracowania skuteczniejszych strategii zarządzania ruchem turystycznym oraz poprawy efektywności działań edukacji ekologicznej. Działania te powinny być ukierunkowane na niwelowanie konfliktów interesów pomiędzy mieszkańcami i turystami, a także na wzmocnienie praktycznych aspektów proekologicznych zachowań obu grup. Aby zwiększyć świadomość ekologiczną turystów odwiedzających wyspę Wolin, władze lokalne oraz Woliński Park Narodowy mogłyby podjąć zintegrowane działania edukacyjne i promocyjne. Wśród priorytetów warto wskazać rozwój infrastruktury edukacyjnej, np. ścieżek z tablicami informacyjnymi czy interaktywnych punktów multimedialnych.

Skutecznym narzędziem mogłyby być również kampanie promujące zrównoważony wypoczynek, realizowane we współpracy z mediami, przewodnikami i branżą turystyczną.

Ważnym elementem byłoby zaangażowanie turystów w praktyczne działania, takie jak sprzątanie plaż czy udział w spacerach edukacyjnych, czemu mogłyby towarzyszyć drobne formy wyróżnienia (np. certyfikaty, pamiątki). Równocześnie warto rozwijać ofertę ekoturystyczną i zadbać o łatwy dostęp do informacji przyrodniczych, także w językach obcych.

Skuteczność tych działań powinna być monitorowana poprzez badania świadomości i współpracę z instytucjami naukowymi. Tylko spójna strategia łącząca edukację, promocję i realne zaangażowanie odwiedzających może przynieść trwały efekt w postaci większej troski o środowisko.

Literatura

- Abramowicz D., Krzyżyńska H., Żuk O., 2019, Poziom świadomości ekologicznej mieszkańców i turystów w Międzyzdrojach, *Geoprzestrzeń*, Poznań.
- Antimova R., Nawijn J., Peeters P., 2012, The awareness/attitude-gap in sustainable tourism: a theoretical perspective, *Tourism Review*, 67(3): 7–16.
- Bank Danych Lokalnych, 2016 (<https://bdl.stat.gov.pl/BDL/dane/podgrup/tablica>; dostęp: 26.03.2025).
- Blake J., 1999, Overcoming the 'value action gap' in environmental policy: Tensions between national policy and local experience, *Local Environment*, 4(3): 257–278.
- Dolnicar S., 2020, Designing for more environmentally friendly tourism, *Annals of Tourism Research*, 84: 102933.
- Głąbiński Z., 2014, Świadomość ekologiczna turystów na terenach nadmorskich w Polsce – wstępne wyniki badań ankietowych „Zintegrowane Zarządzanie Obszarami Przybrzeżnymi w Polsce – stan obecny i perspektywy” t. 5, s. 9–27.
- Juvan E., Dolnicar S., 2014, The attitude-behaviour gap in sustainable tourism, *Annals of Tourism Research*, 48: 76–95.
- Kłos L., 2015, Świadomość ekologiczna Polaków – przegląd badań, *Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania*, 42, 2.
- Kollmuss A., Agyeman J., 2002, Mind the gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, 8(3): 239–260.
- Kostrzewski A., Musielak S., Furmańczyk K., Dudzińska-Nowak J., Osadczuk K., Winowski M., Wolski T., Zwoliński Z., Współczesna ewolucja rzeźby wybrzeża Bałtyku Południowego, [w:] *Współczesne przemiany rzeźby Polski*, wyd. 2, s. 575–581.
- Krupa J., 2014, Działania proekologiczne w turystyce szansą na jej zrównoważony rozwój.
- Mroczo F., 2014, Jakościowe metody badań. Obserwacja naukowa, *Prace Naukowe WWSZIP*, 26(1).
- Musiaka Ł., Wolin i Uznam – obszar pogranicza czy centrum regionu? Historyczne i współczesne uwarunkowania funkcjonowania wysp, *Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Socio-Oeconomica*, 1: 73–95.
- Nowacki M., Kowalczyk-Anioł J., 2022, Experiencing islands: is sustainability reported in tourists' online reviews?, *Journal of Ecotourism*, 1–21.
- Richling A., Solon J., Macias A., Balon J., Borzyszkowski J., Kistowski M. (red.), 2021, Regionalna geografia fizyczna Polski: praca zbiorowa, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Roszak S., Ciążela J., 2022, Percepcja krajobrazu miejskiego Międzyzdrojów przez mieszkańców i turystów, *Geoprzestrzeń*, Poznań.
- Szyjewski Z., 2018, Metody badania zachowań społecznych, *Studia i Prace WNEIZ US*, 54/2.
- Szyjewski Z., Szyjewski G., 2017, Wiarygodność metod badawczych, *Informatyka Ekonomiczna*, 2(44). Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Szczecinie (www.wios.szczecin.pl).
- Żyto A., 2020, Geoturystyka na wyspie Wolin według opinii mieszkańców, *Studia Ekonomiczne*, 392: 19–39.

Environmental awareness among tourists and residents of Międzyzdroje

Abstract: Międzyzdroje is a popular tourist destination, and the dynamic development of tourism taking place there is causing an increasing burden on the natural environment. The project's aim was to assess the level of environmental awareness among both residents and tourists visiting Międzyzdroje. The analysis focused on ecological attitudes and behaviors, as well as on developing educational strategies that could enhance this awareness. The research was conducted using a survey method, assessing respondents' knowledge of local environmental threats and their readiness to undertake pro-environmental actions. The obtained results indicate that although most respondents declare environmental concern, their actual habits often differ from these declarations. The article identifies key barriers to changing environmental behaviors and proposes educational actions that may support sustainable tourism development in the region.

Keywords: environmental awareness, environmental education, tourism, Międzyzdroje, anthropopressure, sustainable development

Sekcja Turystyki i Rekreacji
Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

*Julia Pulik, Oliwia Kapuścińska, Monika Szatkowska, Alicja Pawelska,
Sara Koniec, Valiantsina Makarevich*

Sztuka rekreacji – analiza motywów w malarstwie i ich edukacyjna adaptacja na przykładzie Muzeum Narodowego w Poznaniu

Zarys treści: Artykuł poświęcony jest analizie motywów rekreacyjnych w malarstwie oraz ich wykorzystaniu w edukacji muzealnej na przykładzie zbiorów Muzeum Narodowego w Poznaniu. Przeanalizowano, jak scena wypoczynku, aktywności fizycznej i relaksu była przedstawiana na przestrzeni wieków, od malarstwa klasycznego po sztukę nowoczesną. Szczególną uwagę zwrócono na to, w jaki sposób przedstawienia odzwierciedlają społeczne, kulturowe i historyczne konteksty epok, w których powstawały.

Słowa kluczowe: muzeum, rekreacja, obrazy, malarstwo

Wstęp

Turystyka, będąca formą oderwania od codzienności i pokonywania przestrzeni, nierozzerwalnie wiąże się z kulturą. Przeclawski (1997) wyróżnił pięć aspektów tego związku: turystyka jako funkcja kultury, element kultury, przekaz kultury, spotkanie kultur oraz czynnik przemian kulturowych. Ziarkowski (2012) dodaje, że turystyka, ze względu na swoją powszechność, bywa postrzegana jako przejaw kultury masowej, podczas gdy sztuka zajmuje w wyobrażeniach o kulturze miejsce szczególne. Najczęściej ukazywaną na obrazach formą turystyki są rozmaite formy rekreacji. Rekreacja to różnego rodzaju zajęcia podejmowane w czasie wolnym, dobrowolnie, dla przyjemności, autoekspresji, formacji własnej osobowości, odnowy i pomnażania sił psychofizycznych (Wolańska, 1997).

Rekreacja pełni szereg istotnych funkcji, które przynoszą jednostce oraz społeczeństwu wiele korzyści. Jedną z nich jest funkcja regeneracyjna, która umożliwia odpoczynek po pracy, nauce oraz obowiązkach domowych, wspierając odnowę sił psychicznych i fizycznych. Funkcja rozrywkowa wiąże się z przyjemnym i radosnym spędzaniem czasu, często w formie zabawy, gier czy spotkań towarzyskich. Funkcja rozwojowa pozwala natomiast na poszerzanie wiedzy o świecie, rozwijanie zainteresowań i uczestnictwo w osiągnięciach współczesnej cywilizacji. Ważną rolę odgrywa również funkcja kompensacyjna, która wyrównuje braki w ruchu, kontaktach społecznych czy poczuciu przynależności do grupy. Według Winiarskiego (2011) funkcja kreacyjna umożliwia twórczą realizację pasji i potrzeb, które nie mogą być zaspokojone w codziennych obowiązkach zawodowych czy rodzinnych. Z kolei funkcja katartyczna pełni rolę „oczyszczającą”, pomagając w redukcji stresu oraz emocjonalnym odreagowaniu. Rekreacja może też sprzyjać nawiązywaniu nowych znajomości i budowaniu relacji, co obrazuje funkcja integracyjna. Funkcja adaptacyjna wspiera proces przystosowywania się do nowych warunków oraz zwiększonego wysiłku fizycznego. Funkcja stymulatywna odnosi się do wspomagania rozwoju psychicznego i fizycznego, natomiast funkcja korektywna przeciwdziała zaburzeniom rozwojowym, szczególnie w sferze fizycznej. Równie istotna jest funkcja emancypacyjna, dzięki której jednostka może uwolnić się od presji norm społecznych, moralnych czy grupowych. Z perspektywy społeczno-gospodarczej ważne są funkcja ekonomiczna, która poprzez profilaktykę zdrowotną obniża koszty leczenia i poprawia efektywność działań zawodowych, oraz funkcja społeczno-ideologiczna, polegająca na kształtowaniu pożądanych społecznie wzorców zachowań rekreacyjnych. Uzupełnieniem jest funkcja lokalizacyjna, która ukazuje, że sposób spędzania czasu wolnego może lokalizować jednostkę w określonej przestrzeni społecznej, odzwierciedlając jej styl życia, status czy prestiż. Według Winiarskiego (2011) determinantem klasyfikacji czynności, które zaliczamy do rekreacji, nie jest forma, lecz podmiotowa ocena ich charakteru. Należy to rozumieć w ten sposób, że ta sama czynność może być wykonywana dobrowolnie i stanowić formę rekreacji, a innym razem może mieć charakter obowiązkowy (np. jako element wykonywanych obowiązków służbowych). Z tego też powodu, by ułatwić analizę tego zjawiska, wyróżnia się następujące formy rekreacji:

1. sportową – sporty rekreacyjne (np. golf, tenis, aerobik, jazda konna, pływanie, siatkówka plażowa, badminton);
2. turystyczną – turystyka aktywna (np. piesza, rowerowa, narciarska, żeglarska, kajakowa);
3. hobbistyczną – amatorska działalność wytwórcza, wędkarstwo, myślistwo, grzybobranie;
4. towarzyską – tańce, gry i zabawy towarzyskie, zabawa w dyskotecę, clubbing, gra w kręgle, bilard, brydż;
5. kulturalno-rozrywkową – amatorska twórczość artystyczna, pobyt w parku rozrywki, parku tematycznym, wesołym miasteczku;
6. wirtualną – interaktywne gry internetowe (np. Second Life), gry komputerowe, gry na konsolę PS (PlayStation) (Winiarski, 2011).

Bardziej ogólny podział rekreacji przedstawiają Bielec i in. (2011), w ramach którego wyróżniają rekreację ruchową (fizyczną), twórczą, kulturalno-rozrywkową oraz społeczną. Rekreacja ruchowa rozumiana jest jako wszelkie rodzaje aktywności fizycznej (np. spacer, gimnastykowanie się, gry i zabawy, uprawianie wybranych dyscyplin sportowych). Rekreacja twórcza to takie czynności, jak: działalność plastyczna, muzyczna, teatralna, fotograficzna, numizmatyczna itp. Formy takie jak: czytelnictwo, rozrywka umysłowa (gry planszowe, komputerowe i inne), gry towarzyskie, wszelkiego rodzaju spotkania, koła naukowe itp., zaliczane są do rekreacji kulturalno-rozrywkowej. Natomiast rekreacja społeczna to aktywność dobrowolna podejmowana w czasie wolnym na rzecz innych ludzi (Bielec i in., 2011).

Na potrzeby niniejszego badania autorzy wybierają bardziej uogólniony podział, ze względu na charakterystykę wybranych obrazów.

W opracowaniu przedstawiono wyniki inwentaryzacji muzealnej obrazów w Muzeum Narodowym w Poznaniu (gmach przy placu Wolności), dokumentujących ewolucję turystyki i rekreacji oraz jej wpływ na sztukę. Galeria Malarstwa i Rzeźby, jeden z dziewięciu oddziałów muzeum, oferuje bogate zbiory, obejmujące m.in. Galerię Sztuki Starożytnej, Średniowiecznej, Polskiej od XVI do XVIII wieku, Polską od XVIII wieku do 1945 roku, Sztuki Obcej, Sztuki Współczesnej oraz Galerię Plakatu i Designu. Inwentaryzacja zbiorów jest powszechną metodą stosowaną w muzealnictwie (Skrzydłewska, 1999). Analiza tych zbiorów pozwoliła na identyfikację obrazów przedstawiających zmieniające się trendy w podróżowaniu i wybieranych formach aktywności rekreacyjnej oraz ich wpływu na kulturę i sztukę (<https://www.przewodnicy-poznan.com.pl/atrakcje-turystyczne/muzeum-narodowe>).

Inwentaryzacja obrazów w Muzeum Narodowym w Poznaniu zaowocowała koncepcją stworzenia oferty muzealnej ściśle powiązanej z rekreacją w życiu człowieka. Oferta ta będzie skupiać się na prezentowaniu dzieł sztuki ukazujących związek między rekreacją a kulturą, ewolucję tego związku na przestrzeni wieków oraz rodzaje podejmowanych aktywności. Szczegółowa koncepcja oferty uwzględnia dobór eksponatów, opisy i materiały edukacyjne.

Cele i metody badań

Celem opracowania jest określenie związku między rekreacją a sposobami jej przedstawiania w malarstwie. W efekcie opracowano propozycję adaptacji dzieł malarskich jako potencjalnej oferty dla osób zainteresowanych rekreacją i jej egzemplifikacjami w sztuce. Obrazy zgromadzone w muzeum ukazują różnorodne formy odpoczynku, rozrywki i aktywności fizycznej, które zmieniały się na przestrzeni wieków. Oferta edukacyjna opracowana w ramach projektu ma na celu przedstawienie tych przemian oraz skłonienie odbiorców do refleksji nad rolą rekreacji w życiu człowieka i jej kulturowym znaczeniem. Analiza wybranych przez autorów dzieł ukazuje, jak motyw wypoczynku odzwierciedlał normy społeczne, status ekonomiczny i dominujące tendencje artystyczne. Obrazy przedstawiają-

ce sceny rekreacji w różnych przestrzeniach stanowią cenny materiał badawczy, łącząc sztukę z historią codzienności. Badanie pełni również funkcję edukacyjną, przybliżając kontekst historyczny dzieł i ukazując, jak zmieniał się postrzeganie rekreacji. Opracowanie oferty dla zwiedzających wpisuje się w edukację muzealną, łącząc sztukę, kulturę i turystykę. Pokazanie rekreacji jako motywu obecnego w malarstwie różnych epok pozwala spojrzeć na dziedzictwo artystyczne z nowej perspektywy, czyniąc je bardziej przystępnym i angażującym dla współczesnego odbiorcy.

W celu wskazania dzieł sztuki proponowanych do opracowania edukacyjnej oferty muzealnej została przeprowadzona inwentaryzacja zbiorów Galerii Malarstwa i Rzeźby Muzeum Narodowego w Poznaniu. Pierwszym krokiem w realizacji przedsięwzięcia było pozyskanie układu pomieszczeń galerii w celu uzyskania podkładu mapowego umożliwiającego późniejsze zaznaczenie wskazanych dzieł w przestrzeni. Następnie badaczki przeszły wszystkie dostępne pomieszczenia galerii, by rozpoznać rodzaj i tematykę dzieł w poszczególnych segmentach wraz z rozeznaniem okresu ich powstawania oraz stylu malarskiego. Wykluczono przestrzenie poświęcone wystawom tymczasowym, by uniknąć szybkiej dezaktualizacji opracowywanego szlaku. Po zgromadzeniu kluczowych informacji zaplanowano trasę przejścia uwzględniającą wszystkie obecne ekspozycje, by finalnie przeanalizować całe zbiory, identyfikując wszelkie obecne formy rekreacji. Przyglądano się dziełom ze względu na ich zawartość, tytuł oraz opis zawierający takie informacje, jak kontekst powstania czy interpretacja zawartości. Działania te pozwoliły określić reprezentacje malarskie terminu „rekreacja” znajdujące się w Muzeum Narodowym w Poznaniu.

Muzeum Narodowe w Poznaniu znajduje się w centrum miasta, przy Alejach Marcinkowskiego 9, w bezpośrednim sąsiedztwie Starego Rynku oraz innych ważnych instytucji kulturalnych. Lokalizacja ta czyni je jednym z kluczowych punktów na mapie turystycznej Poznania, łatwo dostępnym zarówno dla mieszkańców, jak i odwiedzających miasto. Gmach główny muzeum mieści się w budynku z początku XX wieku, który jest przykładem modernistycznej architektury. W jego pobliżu znajdują się inne zabytkowe obiekty, takie jak Zamek Cesarski, Teatr Wielki oraz Filharmonia Poznańska, co podkreśla jego znaczenie jako centrum życia kulturalnego miasta. Dzięki dogodnej lokalizacji muzeum jest dobrze skomunikowane – w pobliżu znajdują się przystanki komunikacji miejskiej, co ułatwia dostęp do niego z różnych części Poznania. Bliskość dworca kolejowego i autobusowego sprawia, że placówka jest również łatwo osiągalna dla turystów spoza miasta. Muzeum Narodowe w Poznaniu jest jednym z najstarszych i najważniejszych muzeów w Polsce. Zostało założone w 1857 roku jako Muzeum Miejskie, a w 1919 roku uzyskało status Muzeum Narodowego. Jego rozwój był ściśle związany z historią miasta i regionu, a zbiory muzealne systematycznie powiększały się dzięki darowiznom, zakupom i depozytom. Podczas II wojny światowej muzeum doznało poważnych strat, a wiele cennych dzieł sztuki zostało zrabowanych lub zniszczonych. Po wojnie instytucja została odbudowana, a jej zbiory stopniowo uzupełniano. W 2001 roku otwarto nowoczesne skrzydło muzealne, które znacząco zwiększyło przestrzeń wystawienniczą.

Obraz rekreacji w malarstwie z kolekcji Muzeum Narodowego w Poznaniu

Rekreacja jako motyw artystyczny była obecna w malarstwie od wieków, od scen biesiadnych w sztuce antycznej, przez realistyczne ujęcia codziennego życia w malarstwie holenderskim, po impresjonistyczne przedstawienia wypoczynku i zabawy na świeżym powietrzu. W zbiorach Muzeum Narodowego w Poznaniu znajdują się liczne dzieła, które w różny sposób obrazują aktywności rekreacyjne, ukazując zarówno ich fizyczny, jak i społeczno-kulturowy wymiar. W rozdziale przeanalizowano obrazy pod kątem ich tematyki rekreacyjnej. Wyróżniono 30 dzieł, które reprezentują przykłady rekreacji ruchowej, kulturalno-rozrywkowej, wypoczynkowej i twórczej. Wyróżniona przez autorów została także jedna podkategoria: rekreacja wypoczynkowo-ruchowa, aby lepiej ująć znaczenie i charakter przedstawionych aktywności.

Rekreacja ruchowa

Rekreacja ruchowa, obejmująca różnorodne formy aktywności fizycznej, jest częstym motywem w malarstwie, ukazującym zarówno codzienne zabawy, jak i zorganizowane formy sportu. Artyści chętnie przedstawiali sceny podkreślające znaczenie ruchu dla wypoczynku, zdrowia i społecznej integracji. Pierwszym przykładem jest obraz „Odpoczynek na moło” Edwarda Dwurnika (zał. 1, fot. 1) przedstawiający trzech mężczyzn jeżdżących na rowerach na moło. Sam tytuł wskazuje, że obraz ukazuje formę rekreacji, ponieważ jest to sposób spędzania wolnego czasu i odpoczynku dla przedstawionych na nim osób. Innym przykładem dzieła ilustrującego jazdę na rowerze jest obraz zatytułowany „Darmowa zupa” (zał. 1, fot. 2) tego samego autora, który przedstawia mężczyznę z rowe-rem tym razem w jadłodajni. Warto zwrócić uwagę na obraz „Polonez Chopina (Bal w Hôtel Lambert w Paryżu)” autorstwa Teofila Kwiatkowskiego (zał. 1, fot. 3) prezentujący, jak sugeruje tytuł, ludzi na balu tańczących poloneza. Obraz ten można by również podporządkować pod rekreację kulturowo-rozrywkową, ze względu na charakter wydarzenia, jakim jest bal. Przykładem może być też dzieło Piotra Michałowskiego „Młody człowiek na koniu” (zał. 1, fot. 4). Jazda konna bez wątpienia jest formą rekreacji ruchowej oraz jest ona bardzo często uwieczniana przez artystów malarzy. Jako ostatni w tej kategorii wymienić można obraz „Dziewczynka z obręczą” Władysława Podkowińskiego (zał. 1, fot. 5), przedstawiający małą dziewczynkę trzymającą obręcz, co sugeruje jej aktywność fizyczną związaną z zabawą i ruchem.

Rekreacja twórcza

Rekreacja twórcza w tym ujęciu oznacza każdą formę twórczości i ekspresji jednostki lub grupy. Może ona też zawierać elementy zarówno ruchowe, jak i kulturalne, natomiast najważniejszą jej częścią jest aspekt wyrazu kreatywności

i twórczości. Pierwszym dziełem, które wpasowuje się w tę kategorię, jest „Maskarada” Tadeusza Makowskiego (zał. 1, fot. 6). Obraz przedstawia grupę dzieci przebranych w różne stroje teatralne. Scena ta może sugerować, że dzieci te brały, lub będą brały, udział w przedstawieniu. Podobną tematykę spotykamy w dziele Jacka Malczewskiego zatytułowanym „Rodzina artysty” (zał. 1, fot. 7). Ukazuje on chłopców przebranych w stroje przypominające rycerskie oraz kobietę czytającą książkę, co może oznaczać, że odgrywają oni sceny z owej książki, w ten sposób wyrażając swoją kreatywność. Scenę przedstawienia można zauważyć także na obrazie „Jasełka” tego samego autora (zał. 1, fot. 8). Obraz ukazuje grupę osób zgromadzonych w surowym wnętrzu, wśród których centralną postacią jest kobieta z dzieckiem oraz klęczący mężczyzna. Tytuł i kompozycja sugerują, że scena prezentuje inscenizację jasełek, a nie dosłowne narodziny Chrystusa, dlatego można zaklasyfikować go do tego typu rekreacji. Następny obraz, Wlastmila Hofmana, również nosi tytuł „Jasełka” (zał. 1, fot. 9). Widnieje na nim grupa dzieci w ludowych strojach odgrywających scenę Bożego Narodzenia, co podkreśla teatralny charakter obrazu. W przeciwieństwie do symbolicznego dzieła Malczewskiego, obraz Hofmana ukazuje jasełka bardziej dosłownie. Dostrzec warto również dzieło „Baśń zimowa, z cyklu »Z dziecięcych pól«” autorstwa Witolda Wojtkiewicza (zał. 1, fot. 10), na którym możemy zobaczyć dwójkę dzieci w zimowej scenerii, które przyglądają się odgrywającym scenkę zabawkom. Zakładając, że scena, jakiej przyglądają się dzieci, jest wytworem ich wyobraźni, jasno można stwierdzić, że jest to ukazanie rekreacji twórczej. Jeśli jednak umieszcilibyśmy obraz w świecie fantastycznym, w którym zabawki samodzielnie uczestniczą w bitwach, jego interpretacja uległaby zmianie. Ponieważ dzieci jedynie przyglądają się przedstawieniu, dzieło można by wówczas zaklasyfikować jako ukazujące formę rekreacji kulturalno-rozrywkowej. Innym przykładem tego rodzaju rekreacji jest „Allegro” Jacka Malczewskiego (zał. 1, fot. 11), na którym tytułowa postać, będąca hybrydą człowieka oraz zwierząt, odgrywająca pieśń na skrzypcach. Warto podkreślić, że nie posiada ona żadnych nut, a więc improwizuje, co dodatkowo uwypatnia aspekt twórczy tego dzieła. Na uwagę zasługuje również „Tancerz” Eugeniusza Zaka (zał. 1, fot. 12), przedstawiający samotnego tancerza znajdującego się w jakimś pomieszczeniu. Warto tutaj zwrócić uwagę na fakt, że tancerz jest sam, a więc można interpretować, że robi to dla wyrażenia siebie, co czyni obraz idealnym przykładem rekreacji twórczej. Ostatnim obrazem, jaki został wyszczególniony w tej kategorii, jest „Kontur mojego cienia” autorstwa Ewy Kuryluk (zał. 1, fot. 13), na którym widnieje postać, prawdopodobnie kobieta, obrysowująca kontury swojego cienia. Brak ukazania twarzy podkreśla znaczenie aspektu twórczego tego aktu.

Rekreacja kulturalno-rozrywkowa

Rekreacja kulturalno-rozrywkowa to przejawy kultury i rozrywki, które umożliwiają ludziom oderwanie się od codziennych obowiązków poprzez zabawy, spotkania towarzyskie lub czytelnictwo. Artyści chętnie sięgają po motywy związane z rekreacją kulturalno-rozrywkową, pokazując, jak istotną rolę w życiu społecz-

nym i indywidualnym odgrywają spotkania, zabawy i aktywności intelektualne. Ponieważ dzieł w tej kategorii wybrano najwięcej, można je podzielić na mniejsze podkategorie, uwzględniając rodzaj aktywności kulturalno-rozrywkowej. Na początku dzieła przedstawiające rozrywkę poprzez spotkania i integrację społeczną. Pierwszym takim obrazem może być „Dancing” Władysława Roguskiego (zał. 1, fot. 14). Ukazuje on ludzi bawiących się na imprezie w barze lub restauracji, otoczonych muzyką i światłami. Gra autora światłem i kolorem przyciąga wzrok i wzbudza w odbiorcy wiele pozytywnych emocji, a także przemyśleń. Innym obrazem ukazującym formę rekreacji kulturalno-rozrywkowej jest dzieło „U kresu nocy” Łukasza Korolkiewicza (zał. 1, fot. 15), w którego centrum znajduje się mężczyzna z papierosem, a po lewej drugi mężczyzna opierający się o ścianę. Cała sceneria oraz tytuł sugerują, że byli oni tej nocy na imprezie lub jakimś spotkaniu towarzyskim. Kolejnym przykładem przedstawienia tej formy jest obraz „Na koncercie Beatlesów” Haliny Korn-Żuławskiej (zał. 1, fot. 16), na którym zauważyć można ludzi bawiących się i śpiewających prawdopodobnie w pierwszym rzędzie na koncercie. Każdy z nich ma inny wyraz, niektórzy wyglądają na bardziej zadowolonych, inni mniej, natomiast bez wątpienia biorą oni udział w wydarzeniu kulturalnym. W tej kategorii można ująć również obraz „Opera paryska w nocy” autorstwa Aleksandra Gieryskiego (zał. 1, fot. 17), który przedstawia ludzi spacerujących przed Operą Paryską. Tytuł określa to miejsce, dzięki czemu można wywnioskować, że ludzie ci znajdują się tam w celu spotkania towarzyskiego oraz doświadczania sztuki i kultury. Analogiczne ujęcie tematu ukazuje „Przed księgarnią w Paryżu” Józefa Czajkowskiego (zał. 1, fot. 18). Na obrazie można zauważyć ludzi przyglądających się witrynie księgarni, sprawiających wrażenie zaciekawionych i zaangażowanych w rozmowę. Pozostając w Paryżu, warto przejść do obrazu „Targ na kwiaty przed kościołem La Madeline w Paryżu” Józefa Pankiewicza (zał. 1, fot. 19). Jest to dzieło ukazujące kobiety przechadzające się po targu, zajęte rozmową. W tle widać ludzi w miejskim natłoku, kupujących oraz sprzedających na targu. W zbiorach muzeum znajdują się również obrazy przedstawiające ludzi spędzających czas w restauracjach lub rozmawiających przy jedzeniu. Przykładem takiego dzieła może być „Cafe D’Arcourt (Kawiarnia w Paryżu)”, którego autorem jest Wojciech Weiss (zał. 1, fot. 20), pełen kolorów obraz, ukazujący przesiadujących w restauracji ludzi. Widać, że są oni rozbawieni i pochłonięci rozmową. Spokojniejsza sceneria znajduje się na obrazie „Na poddaszu” Władysława Lama (zał. 1, fot. 21). Można na nim zauważyć trójkę dzieci grających w karty, jak sugeruje tytuł, na poddaszu. Z zaciekawieniem biorą udział w grze, umilając sobie w ten sposób czas wolny. Innym przykładem rekreacji kulturalno-rozrywkowej jest obraz pod tytułem „List” Jacka Malczewskiego (zał. 1, fot. 22). W jego centrum znajduje się kobieta pochłonięta treścią listu, który może być dla niej źródłem emocji i refleksji, co sprawia, że dzieło możemy zakwalifikować do tej kategorii. Na koniec, pozostając w tematyce czytelniczej, zwrócono uwagę na dzieło Zbigniewa Pronaszki „Akt z książką na tle Miechowa” (zał. 1, fot. 23), na którym można zauważyć nagą kobietę leżącą na kocu czytającą książkę. Jest to sposób na regenerację sił, a także kontakt z kulturą i sztuką.

Rekreacja wypoczynkowa

Rekreacja wypoczynkowa to forma spędzania wolnego czasu, która sprzyja regeneracji sił bez dużego wysiłku. Obejmuje spacerowanie lub odpoczynek na łonie natury. Jej celem jest odprężenie i redukcja stresu poprzez lekką aktywność lub relaks. Możemy wyróżnić kilka obrazów ukazujących spacerowiczów, które znajdują się w Muzeum Narodowym w Poznaniu m.in.: „Spacer na Bielany” Kajetana Sosnowskiego (zał. 1, fot. 24), „Krajobraz okolic Avalon” autorstwa Teofila Kwiatkowskiego (zał. 1, fot. 25), „Pani z czerwoną parasolką” Samuela Hirszenberga (zał. 1, fot. 26), a także „Dziewczynka z psem” Konrada Krzyżanowskiego (zał. 1, fot. 27). Wszystkie te dzieła łączy aspekt spaceru na świeżym powietrzu, a dzięki zabiegom kolorystycznym i świetlnym zastosowanym przez autorów emanują one spokojem i szczęściem. Kolejny w tej kategorii będzie „Pocałunek na trawie” Wojciecha Weissza (zał. 1, fot. 28), ukazujący parę zatracającą się w pocałunku na łonie natury. Można przypuszczać, że wybrali się oni w to miejsce na piknik, aby spędzić razem romantycznie czas i wypocząć. Przenosząc się w odmienną scenerię – nad wodę – natrafiamy na dzieło „Mokra wieś” Władysława Podkowińskiego (zał. 1, fot. 29). Roztacza atmosferę sielanki i spokoju, a także młodzińczej niewinności oraz delikatności. Warto również przyjrzeć się „Pejzażowi tatrzańskiemu” Jana Nepomucena Głowackiego (zał. 1, fot. 30), ponieważ poza przepięknym krajobrazem na skale można dostrzec podziwiającego widoki mężczyznę. Podobnie na obrazie „Jezioro w górach” Christiana Breslauera (zał. 1, fot. 31), na którym w centralnej części w łodzi możemy zauważyć postacie wypoczywające na niej i rozkoszujące się otaczającym pięknem natury. Na uwagę zasługuje też obraz zatytułowany „Plaża” autorstwa Henryka Haydena (zał. 1, fot. 32), na którym widnieją odpoczywające na plaży postacie. Mają przy sobie książkę. Sprawiają wrażenie zrelaksowanych i wypoczętych. Na koniec można wymienić obraz „Kobieta zbierająca kwiatki” Tymona Niesiołowskiego (zał. 1, fot. 33), z którego tytułu łatwo wywnioskować, że przedstawia on kobietę w trakcie zbierania kwiatów. Jest to z pewnością aktywność umożliwiająca regenerację sił i dająca czas na przemyślenia.

Wnioski

Rekreacja, będąca integralnym aspektem ludzkiej egzystencji, znajduje odzwierciedlenie w sztukach wizualnych, w tym w malarstwie. Rekreacja ruchowa, obejmująca różnorodne formy aktywności fizycznej, jest częstym motywem w sztuce, ukazującym zarówno codzienne zabawy, jak i zorganizowane formy sportu. Jak wynika z wyników badania, artyści chętnie przedstawiali sceny podkreślające znaczenie ruchu dla wypoczynku, zdrowia i społecznej integracji. Przykładami tego motywu, eksponowanymi w Muzeum Narodowym w Poznaniu, są obrazy, takie jak: „Odpoczynek na molo” Edwarda Dwurnika i „Dziewczynka z obręczą” Władysława Podkowińskiego. Twórcy wielokrotnie sięgają też po motywy związane z rekreacją kulturalno-rozrywkową, pokazując, jak istotną rolę w życiu społecz-

nym i indywidualnym odgrywają spotkania, zabawy i aktywności intelektualne. Przykładami takich dzieł obecnych w zbiorach muzeum są obrazy „Na koncercie Beatlesów” Haliny Korn-Żuławskiej oraz „Dancing” Władysława Roguskiego. Rekreacja twórcza w tej interpretacji jest wyrazem kreatywności i ekspresji. Podobną tematykę w Muzeum Narodowym w Poznaniu przedstawiono w takich dziełach, jak: „Rodzina artysty” Jacka Malczewskiego czy „Maskarada” Tadeusza Makowskiego. Zauważona została również rekreacja wypoczynkowa, która ukazana jest jako spokojne spędzanie czasu na łonie natury, sprzyjające relaksowi i regeneracji sił. Przykłady takie, jak „Pocałunek na trawie” Weissa czy „Plaża” Haydena, podkreślają atmosferę odprężenia i bliskości z przyrodą. Artyści, dzięki odpowiedniej kolorystyce i kompozycji, oddają uczucie spokoju i harmonii. Inwentaryzacja obrazów w Muzeum Narodowym w Poznaniu zaowocowała koncepcją stworzenia oferty muzealnej ściśle powiązanej z rekreacją w życiu człowieka. Opracowana oferta łączy w sobie edukację muzealną, turystykę, kulturę i sztukę, pozwalając spojrzeć na malarstwo z nowej perspektywy, czyniąc dziedzictwo artystyczne bardziej interesującym, przystępnym i angażującym dla współczesnego odbiorcy.

Literatura

- Bielec G., Półtorak W., Warchol K., 2011, *Zarys teorii i metodyki rekreacji ruchowej*, Wydawnictwo PROKSENIA, Kraków.
- Galeria Malarstwa i Rzeźby, Muzeum Narodowe w Poznaniu, stan na 28.02.2025 roku.
- Przećlański K., 1997, *Człowiek a turystyka. Zarys socjologii turystyki*, wyd. 2 popr., Albis, Kraków.
- Skrzydłewska B., 1999, *Działalność inwentaryzacyjna Muzeum Diecezjalnego w Płocku*, *Roczniki Humanistyczne*, 47, 4.
- Winiarski R., 2011, *Rekreacja i czas wolny*, Oficyna Wydawnicza Łośgraf, Warszawa.
- Wolańska T., 1977, *Leksykon – sport dla wszystkich, rekreacja ruchowa*, Wydawnictwo AWF, Warszawa.
- Ziarkowski D., 2012, *Turystyka i sztuka – wzajemne relacje z perspektywy semiotycznej*, *Turystyka Kulturowa*, 5: 22–37.

Netografia

<https://www.przewodnicy-poznan.com.pl/atrakcje-turystyczne/muzeum-narodowe>

The Art of Recreation – Analysis of Motifs in Painting and Their Educational Adaptation: The Case of the National Museum in Poznań

Abstract: The article is dedicated to the analysis of recreational motifs in painting and their use in museum education for the National Museum in Poznań. It examines how scenes of leisure, physical activity, and relaxation have been depicted over the centuries,

from classical painting to modern art. Particular attention is given to the way these representations reflect the social, cultural, and historical contexts of the periods in which they were created.

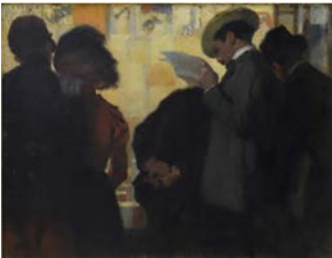
Keywords: museum, recreation, art, paintings

Załącznik 1 – Spis dzieł uwzględnionych w opracowaniu

Lp.	Obraz	Tytuł, autor, rok	Technika
Rekreacja ruchowa			
1		„Odpoczynek na moło”, Edward Dwurnik, 1972	olej i akryl, płótno
2		„Darmowa zupa”, Edward Dwurnik, 1972	olej i akryl, płótno
3		„Polonez Chopina (Bał w Hôtel Lambert w Paryżu)”, Teofil Kwiatkowski, 1859	akwarela, gwasz, papier naklejony na płótno
4		„Młody człowiek na koniu”, Piotr Michałowski, 1845–1855	olej, płótno

Lp.	Obraz	Tytuł, autor, rok	Technika
5		„Dziewczynka z obręczą”, Władysław Podkowiński, 1894	olej, płótno
Rekreacja twórcza			
6		„Maskarada”, Tadeusz Makowski, 1920	olej, płótno
7		„Rodzina artysty”, Jacek Malczewski, 1896–1897	olej, płótno
8		„Jasełka”, Jacek Malczewski, 1920	akryl, płótno
9		„Jasełka”, Wlastimil Hofman, 1918	olej, płótno

Lp.	Obraz	Tytuł, autor, rok	Technika
10		„Baśń zimowa, z cyklu »Z dziecięcych pól«, Witold Wojtkiewicz, 1908	tempera, płótno
11		„Allegro”, Jacek Malczewski, 1906	olej, płótno
12		„Tancerz”, Eugeniusz Zak, ok. 1922	olej, płótno
13		„Kontur mojego cienia”, Ewa Kuryluk, 1978	olej, płótno
Rekreacja kulturalno-rozrywkowa			
14		„Dancing”, Władysław Roguski, ok. 1922	olej, płótno

Lp.	Obraz	Tytuł, autor, rok	Technika
15		„U kresu nocy”, Łukasz Korolkiewicz, 1978	olej, płótno
16		„Na koncercie Beatlesów”, Halina Korn-Żuławska, przed 1960	olej, płyta pilśniowa
17		„Opera paryska w nocy”, Aleksander Gierymski, 1891	olej, płótno
18		„Przed księgarnią w Paryżu”, Józef Czajkowski, 1900	olej, płótno
19		„Targ na kwiaty przed kościółem La Madeleine w Paryżu”, Józef Pankiewicz, 1890	olej, płótno

Lp.	Obraz	Tytuł, autor, rok	Technika
20		„Cafe D’Arcourt (Kawiarnia w Paryżu)”, Wojciech Weiss, 1899	olej, płótno
21		„Na poddaszu”, Władysław Lam, 1926	olej, płótno
22		„List”, Jacek Malczewski, 1911	olej, deska
23		„Akt z książką na tle Miechowa”, Zbigniew Pronaszko, ok. 1921	olej, płótno
Rekreacja wypoczynkowa			
24		„Spacer na Bielany”, Kajetan Sosnowski, 1956	olej, płótno

Lp.	Obraz	Tytuł, autor, rok	Technika
25		„Krajobraz okolic Avalon”, Teofil Kwiatkowski, po 1871	olej, deska
26		„Pani z czerwoną parasolką”, Samuel Hirszenberg, 1895	olej, płótno
27		„Dziewczynka z psem”, Konrad Krzyżanowski, ok. 1920	olej, płótno
28		„Pocałunek na trawie”, Wojciech Weiss, 1899	olej, płótno
29		„Mokra wieś”, Władysław Podkowiński, 1892	olej, płótno

Lp.	Obraz	Tytuł, autor, rok	Technika
30		„Pejzaż tatrzański”, Jan Nepomucen Głowacki, 1837	akwarela, gwasz, papier
31		„Jezioro w górach”, Christian Breslauer, 1839	olej, płótno
32		„Plaża”, Henri Hayden, 1916	olej, płótno
33		„Kobieta zrywająca kwiat”, Tymon Niesiołowski, 1922	olej, płótno

III. Metody badań przestrzeni geograficznej

Sekcja Kartografii i Geomatyki
Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Wojciech Karczewski, Jakub Woźniak, Dawid Łyszczasz, Radosław Jagła

Metody pozyskiwania i prezentacji danych przestrzennych w kontekście ochrony dziedzictwa kulturowego – analiza i porównanie cech

Zarys treści: Celem artykułu była analiza porównawcza metod stosowanych do pozyskiwania i prezentacji danych przestrzennych w kontekście ochrony obiektów dziedzictwa kulturowego. Wyróżniono następujące metody pomiarowe: tachimetrie, fotogrametrie naziemną, fotogrametrie z niskiego pułapu lotniczego z wykorzystaniem UAV oraz naziemny skanowanie laserowe (TLS). Metody zostały najpierw przeanalizowane, a następnie zestawione w formie tabelarycznej ze szczególnym uwzględnieniem czynników takich, jak: typ pozyskanych danych, typ obiektu/obszaru, cel pomiaru, dokładność pomiaru, czas pozyskania danych, kosztowność pomiaru, ograniczenia techniczne pomiaru, ograniczenia środowiskowe, inne ograniczenia, forma prezentacji danych przestrzennych. Określono, że każda metoda cechuje się szeregiem zalet i ograniczeń w kontekście realizacji prac związanych z tworzeniem lub wzbogacaniem treści dokumentacji obiektów historycznych czy kulturowych. Autorzy zwrócili uwagę, że niniejsza analiza może być pomocna na etapie planowania różnych działań łączących nauki inżynierskie (w szczególności geodezję i kartografię) z ochroną dziedzictwa kulturowego.

Słowa kluczowe: dziedzictwo kulturowe, metody pomiarowe, analiza porównawcza, pozyskanie danych przestrzennych, formy prezentacji danych przestrzennych

Wstęp

Dziedzictwo kulturowe nie jest jednoznacznie zdefiniowanym pojęciem, natomiast możliwa jest jego interpretacja w zależności od jednostkowego pojmowania kultury oraz podziału na obiekty materialne i niematerialne (Batyk, 2010). Zgodnie z art. 1 Konwencji w sprawie ochrony światowego dziedzictwa kulturalnego i naturalnego, przyjętej w Paryżu dnia 16 listopada 1972 roku przez Konferencję Generalną Organizacji Narodów Zjednoczonych dla Wychowania, Nauki i Kultury na jej siedemnastej sesji, za dobro kulturowe uważa się:

- zabytki: dzieła architektury, dzieła monumentalnej rzeźby i malarstwa, elementy i budowle o charakterze archeologicznym, napisy, jaskinie i zgrupowania tych elementów mające wyjątkową, powszechną wartość z punktu widzenia historii, sztuki lub nauki;
- zespoły: budowli oddzielnych lub łącznych, które ze względu na swoją architekturę, jednolitość lub zespolenie z krajobrazem mają wyjątkową powszechną wartość z punktu widzenia historii;
- miejsca zabytkowe: dzieła człowieka lub wspólne dzieła człowieka i przyrody, jak również strefy, a także stanowiska archeologiczne mające wyjątkową powszechną wartość z punktu widzenia historycznego, estetycznego, etnograficznego lub antropologicznego.

Coraz częściej podkreśla się istotność dziedzictwa kulturowego na kształtowanie kapitału społecznego oraz tożsamości i rozwoju miejsca (Legotko-Kobus, 2016). Tym istotniejsza wydaje się konieczność dokładnego oraz wysokojakościowego pozyskiwania i prezentacji danych dotyczących tych obiektów, które często narażone są na zniszczenie.

Rozwój technologiczny w zakresie geodezyjnym oraz geoinformacyjnym pozwolił poszerzyć obszary zastosowania pozyskiwanych danych przestrzennych między innymi w zarządzaniu ryzykiem, monitorowaniu stanu obiektów czy badaniu związków przyczynowo-skutkowych podczas oceny różnych zachodzących zjawisk (Karsznia i in., 2024). W ostatnich latach, ze względu na dynamiczny rozwój cyfrowych technik pomiarowych, można zaobserwować coraz większą liczbę zaawansowanych metod pomiarowych w dokumentacji obiektów dziedzictwa kulturowego (Wojciechowska, 2019).

Współcześnie stosowane metody pozyskiwania oraz przetwarzania danych w tym zakresie to tachimetria (Ragia i in., 2015; Woźniak i in., 2024), fotogrametria naziemna (Shults i in., 2017; Elkhachy, 2019), fotogrametria lotnicza z niskiego pułapu lotniczego z wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych (ang. *Unmanned Aerial Vehicle* – UAV) (Smaczyński, Horbiński, 2021; Jagła i in., 2023) oraz naziemny skanিং laserowy (ang. *Terrestrial Laser Scanning* – TLS) (Rodríguez-González i in., 2017; Kuzyk i in., 2023).

We wcześniejszych swoich pracach realizowanych w ramach działalności Sekcji Kartografii i Geomatyki Studenckiego Koła Naukowego Geografów im. Stanisława Pawłowskiego Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (Jagła i in., 2023) autorzy na przykładzie ruin zamku w Kole (Gozdów) zauważyli znaczące zmiany, jakie zaszły na przestrzeni lat w procesie pozyskiwania

i prezentacji danych przestrzennych w kontekście obiektów dziedzictwa kulturowego. Przed podjęciem pomiarów terenowych jedynymi uzyskanymi danymi dotyczącymi ruin zamku w Kole (Gozdów) były dzienniki z polowych prac archeologicznych z lat 1977–1979. Dokumentacja ta zawierała w znacznej większości opisy ruin oraz ich szkice i zdjęcia. Wskazane opracowania nie były kartometryczne. W razie dalszego niszczenia obiektu nie byłoby możliwe jego odrestaurowanie, gdyż posiadane dane nie zapewniały odpowiedniej ilości informacji oraz były nieaktualne. Przeprowadzone pomiary z wykorzystaniem metod naziemnego skaningu laserowego (TLS) oraz fotogrametrii lotniczej z wykorzystaniem UAV nie tylko zaktualizowały zasób danych przestrzennych dotyczących obiektu, ale również zapewniły ich wysoką dokładność.

Mnogość metod pozyskiwania i prezentacji danych w kontekście obiektów dziedzictwa kulturowego wynika z różnorodności obiektów. Mogą różnić się rozmiarem, stopniem zróżnicowania swojej budowy, położeniem oraz stanem technicznym. Każdy z elementów należy rozważyć i przyjąć optymalną metodę. Z przedstawionych wyżej metod pozyskujemy dane: w przypadku tachimetrii współrzędne punktów sytuacyjno-wysokościowe (X, Y, Z), fotogrametrii naziemnej oraz fotogrametrii lotniczej (UAV) zdjęcia cyfrowe, natomiast w przypadku skaningu naziemnego oraz lotniczego również współrzędne punktów (X, Y, Z), jednakże w formie chmury punktów. Równie istotnym elementem wyboru jest cel pozyskania danych oraz preferowana forma ich prezentacji. Omawiane metody różnią się od siebie dokładnością, typem pozyskiwanych danych, formatem ich zapisu, obszarem, jaki jesteśmy w stanie nimi objąć, a także czasem i kosztami wiążącymi się z ich użyciem.

W kontekście prezentacji danych wyróżniamy różne metody. Najprostszym sposobem, mogącym występować wspólnie ze wszystkimi innymi metodami, prezentacji jest opis stanu obiektu oraz jego szkice (Drobek i in., 2018). Bardziej zaawansowaną formą prezentacji są ortofotomapy, które stanowią rastrowy obraz powierzchni terenu, powstały w wyniku przetworzenia zdjęć lotniczych lub satelitarnych (Powałowska i in., 2024). Podczas przetwarzania danych eliminowane są zniekształcenia geometryczne wynikające z kąta nachylenia oraz deniwelacji terenu, w efekcie czego uzyskujemy kartometryczny obraz, aktualny w dacie wykonania zdjęć (Gołuch, 2003). Inną możliwą formą prezentacji danych są Numeryczne Modele Terenu (NMT). NMT jest cyfrowym modelem terenu, przedstawiającym przede wszystkim informacje wysokościowe za pomocą poziomicy lub skali kolorów. Powszechnie stosowane i wykorzystywane w wielu aspektach są chmury punktów. Są to trójwymiarowe zbiory punktów z określonymi współrzędnymi X, Y, Z oraz zapisaną wartością barwy RGB. Na ich podstawie budowane są modele trójwymiarowe (*mesh*). Są to modele siatkowe stanowiące wektorową reprezentację obiektu 3D, często z nałożoną, wysoko jakościową teksturą.

Każda z metod ma również swoje ograniczenia i przeszkody, które możemy podzielić na kilka typów:

- ograniczenia prawne związane z prawem własności obiektu, nadzorem konserwatora zabytków lub regulacjami prawnymi dotyczącymi obiektów infrastruktury krytycznej lub tajnej;

- ograniczenia środowiskowe wynikające z niedostępności terenu, znacznego zadrzewienia ograniczającego widoczność lub warunków pogodowych uniemożliwiających wykorzystanie danej metody pomiaru;– ograniczenia finansowe związane z kosztami instrumentów pomiarowych, ale także zakupu i korzystania z profesjonalnego, komercyjnego oprogramowania do przetwarzania danych.

Cel i metodyka badań

Mając na uwadze wysoką różnorodność wykorzystywanych metod pozyskiwania i prezentacji danych przestrzennych w kontekście ochrony dziedzictwa kulturowego, autorzy niniejszego artykułu zdecydowali się na przeprowadzenie analizy porównawczej współcześnie stosowanych w tej dziedzinie metod pomiarowych, takich jak: tachimetria, fotogrametria naziemna, fotogrametria lotnicza z niskiego pułapu lotniczego, naziemny skanিং laserowy oraz lotniczy skanিং laserowy. Wyniki analizy przedstawiono w formie tabelarycznej. Porównania dokonano na podstawie takich parametrów, jak: typ pozyskanych danych, typ obiektu/obszaru, cel pomiaru, dokładność pomiaru, czas pozyskania danych, kosztowność pomiaru, ograniczenia techniczne pomiaru, ograniczenia środowiskowe, inne ograniczenia, forma prezentacji danych przestrzennych.

Analiza wybranych metod pozyskiwania i prezentacji danych w kontekście ochrony dziedzictwa kulturowego

Tachimetria

Tachimetria jest metodą pomiarową wykorzystującą tachimetr, charakteryzującą się połączeniem pomiaru sytuacyjnego w postaci metody biegunowej, z pomiarem wysokościowym realizowanym za pomocą niwelacji trygonometrycznej (Jagielski, 2003). W jej wyniku otrzymujemy geodezyjne współrzędne prostokątne płaskie punktu sytuacyjnego (współrzędne X, Y) oraz jego współrzędną wysokościową (Z), w zdefiniowanym układzie odniesienia. W czasie pomiaru tachimetrycznego kluczowe jest odpowiednie umiejscowienie stanowiska pomiarowego, gwarantującego dostępność w pomiarze punktów osnowy geodezyjnej, przy jednoczesnym spełnieniu odpowiednich kryteriów dokładnościowych. Występuje więc konieczność nawiązania do stabilizowanych punktów osnowy czy zasygnalizowanych punktów pomiarowych. Użycie tachimetrii w kontekście ochrony dziedzictwa kulturowego zależy od kilku czynników.

W pierwszej kolejności należy uwzględnić badany obiekt wraz z otaczającym go obszarem. Tachimetria może stanowić pomiar wspomagający dla innych metod inwentaryzacyjnych w przypadku obiektów dziedzictwa kulturowego znajdujących się pod ziemią (Ochałek i in., 2018), takich jak chociażby jaskinie czy

tunele powojenne. Częściej jednak stosowana jest dla obiektów znajdujących się na powierzchni ziemi. Jest to szczególnie widoczne w kontekście obiektów będących w stanie, który wymaga renowacji. Pomiary tachimetryczne są niezbędne nie tylko w przypadku tworzenia sieci geodezyjnej, ale także dla punktów pomiarowych zlokalizowanych na fasadzie (Grussenmeyer, 2014). Dobrym przykładem są prace prowadzone na historycznym budynku o nazwie „Neoria”, mieszczącym się w mieście Chania, na północno-zachodnim wybrzeżu greckiej wyspy Kreta (Ragia i in., 2015). Zastosowanie tachimetrii do pomiaru fasad budynku pozwoliło autorom publikacji w dalszych etapach odtworzyć w trzecim wymiarze pierwotny wygląd obiektu badań. Ma ona więc duży potencjał pod kątem dokładności uzyskiwanej dla pojedynczych punktów zlokalizowanych na powierzchni obiektu (Boochs i in., 2012). Metoda tachimetryczna odgrywa też istotną rolę w przypadku obiektów zlokalizowanych na obszarach podatnych na działanie takich zjawisk, jak osuwiska czy sztormy. Jest wykorzystywana do pomiaru geometrii, badań odkształceń czy wychyleń obiektów. Zalecane jest jej stosowanie w celu pomiarów skomplikowanej geometrii, utrudnionego dostępu lub znacznych wysokości obiektów (Drobek i in., 2018). W większości wyżej wymienionych celów dane pozyskiwane w wyniku tachimetrii stanowią podstawę do opracowania modeli trójwymiarowych, zwłaszcza gdy chcemy wyszczególnić charakterystyczną geometrię bądź przeanalizować występujące na nich deformacje.

Innym czynnikiem wpływającym na stopień zastosowania tachimetrii w pomiarach obiektów dziedzictwa kulturowego jest jej dokładność. W warunkach terenowych uzyskiwana dokładność jest na ogół mniejsza niż w warunkach laboratoryjnych i oscyluje w granicach 1–5 mm dla odległości i 3–10 dla wyznaczenia kierunków (Bęben i in., 2016). Jest to przede wszystkim zależne od tego, czy pomiar prowadzony jest w sposób bezlustrowy, czy też z wykorzystaniem pryzmatu geodezyjnego. W przypadku pomiarów nakierowanych na obiekty dziedzictwa kulturowego w zdecydowanej większości jest on bezlustrowy, przez co mogą wystąpić ograniczenia w uzyskiwanej dokładności. Dla przykładu producent tachimetru zrobotyzowanego Leica TS13 określa zasięg pomiaru z wykorzystaniem pryzmatu geodezyjnego jako 3500 m, podczas gdy zasięg pomiaru bezpośrednio na powierzchnię budynku może wynieść między 900 a 1000 m. Warto podkreślić, że zasięg pomiaru może zależeć od faktury powierzchni oraz od kąta padania promieni (Klimkowska, Wróbel, 2006). Dokładność pomiaru, jaką otrzymujemy z pracy tachimetrem, może przynosić również pewne problemy, związane z ryzykiem wystąpienia zbyt dużych krzywizn ścian (Prarat, 2015). Mimo wszystko tachimetria ze względu na swoją precyzyjność postrzegana jest jako bardzo dobre rozwiązanie, pozwalające pozyskać dane dotyczące szkieletu badanej konstrukcji czy punktów newralgicznych. Wybór tachimetrii uzależniony jest także od kosztowności i długości trwania całego procesu. Kosztowność metody wynika w głównej mierze od wyboru sprzętu. Można oszacować, że ceny samego zakupu tachimetru zaczynają się od 3000 dolarów, a kończą na 12 000 dolarów (Garofous i in., 2022). Opłacalną opcją jest zatem wypożyczenie sprzętu, mogące kosztować średnio między 50 a 100 dolarów na dzień (Campbell, 2009). Poza samym przyrządem pomiarowym w zakup trzeba też wliczyć statyw, na którym zostanie

Wykaz współrzędnych pomierzonych punktów

Nr	X	Y
N1T	135.423	100.000
N2T	119.917	130.096
N3T	68.328	122.059
T1	119.139	130.842
T1*	119.133	130.847
T10	122.872	148.361
T11	120.934	149.335
T12	125.097	151.967
T13	127.251	150.899
T14	126.837	155.813
T15	124.629	156.933
T16	128.741	159.547
T17	131.007	158.396
T18	130.857	163.234
T19	129.267	162.406
T2	116.900	133.790
T2*	116.894	133.792
T20	125.439	164.314
T21	132.870	166.974
T22	132.605	165.458
T23	136.560	163.467

Ryc.1. Fragment wykazu współrzędnych z pomiaru tachimetrycznego

Fig. 1. Fragment of the list of coordinates from the tachymetric measurement

on umieszczony, oraz urządzenia geodezyjne, takie jak przyrządy czy folia dalmiercza (tarczki geodezyjne). Osobną kwestią jest nabycie licencji oprogramowania, na którym wyniki pomiaru będą kameralnie opracowywane, bowiem zależy to od celu, do którego dane z tachimetrii zostaną wykorzystane, np. opracowanie geowizualizacji obiektu. Uwzględniając wymienione czynniki, można uznać, że tachimetria cechuje się wysoką kosztownością.

Czas pozyskania danych jest kwestią zależną od tego, jakie sytuacje wystąpią w czasie prac terenowych, w szczególności dotyczące warunków środowiskowych. Pomiary przemieszczeń przeprowadzone przez członków

Sekcji Kartografii i Geomatyki Studenckiego Koła Naukowego Geografów im. Stanisława Pawłowskiego UAM w Poznaniu, którymi objęto schody zlokalizowane na Kawczej Górze (gmina Międzyzdroje), przedstawiają potencjalne problemy, jakie mogą wystąpić w czasie pomiaru tachimetrycznego, takie jak ograniczenie wizury badanego obiektu, niestabilne podłoże czy zmienne warunki atmosferyczne pod postacią wiatru (Woźniak i in., 2024). Wspomniane czynniki potrafią skutecznie wydłużyć, a czasami nawet uniemożliwić prawidłowe przeprowadzenie pomiaru. Mierzony obiekt może ponadto okazać się na tyle duży, że wymusza konieczność pomiaru z kilku stanowisk pomiarowych, o czym także mogą decydować ograniczenia ze strony dostępnej przestrzeni oraz czynników przyrodniczych. W niektórych przypadkach przeprowadzenie pomiaru tachimetrycznego może się równać z koniecznością bezpośredniego oddziaływania na badany obiekt, na przykład poprzez umieszczenie na nim tarczek z folii dalmierczej. Charakteryzuje się więc niewielkim, ale istniejącym stopniem inwazyjności na obiekt dziedzictwa kulturowego. Wynikiem pomiaru tachimetrycznego są dane w formie tabeli bądź wykazu zmian w określonym formacie (ryc. 1).

Fotogrametria naziemna

Fotogrametria naziemna jest działem fotogrametrii zajmującym się wykonywaniem zdjęć fotogrametrycznych ze stanowisk zlokalizowanych na powierzchni Ziemi (Kurczyński, 2014) oraz ich późniejszym opracowaniem (Gaździcki, 2001), głównie z wykorzystaniem technik komputerowych (Markiewicz, Zawiejska, 2014). W kontekście ochrony dziedzictwa kulturowego metoda ta znajduje zastosowania w architekturze (Gołka, Haliński, 2000; Rzonca, 2004; Kersten i in., 2004; Szymański i in., 2018), archeologii (Alby, 2015), inżynierii (Kuzyk, 2023; Świerczyńska i in., 2024) oraz edukacji (Mitka, Szelest, 2013). Shults i in.



Ryc. 2. Model 3D ruin klasztoru Saint-Hilarion w strefie Gazy

Fig. 2. 3D model of the ruins of the Saint-Hilarion Monastery in the Gaza Strip

(2017) podkreślają, że dzięki powszechnej dostępności fotografii cyfrowej oraz wielofunkcyjnego oprogramowania niemal każdy użytkownik może wykorzystywać tę technologię do dokumentacji obiektów dziedzictwa kulturowego.

Podobnie jak w fotogrametrii lotniczej i satelitarnej, podstawowym typem danych uzyskiwanych w wyniku pomiarów są fotografie 2D (Stojaković, 2008). Fotogrametria naziemna zalicza się do fotografii bliskiego zasięgu (ang. *close-range photogrammetry*), w której pozyskiwanie obrazów odbywa się z odległości nieprzekraczającej 300 m (Dmochowska-Dudek, 2016). W kontekście ochrony dziedzictwa kulturowego stosuje się ją najczęściej do pomiarów pojedynczych budynków, budowli oraz ich elementów wewnętrznych i zewnętrznych, takich jak np. kościoły (Alby, 2015), ruiny zamków (Kersten i in., 2004), pałace (Markiewicz, Zawieska, 2014; Świerczyńska i in., 2024), fortyfikacje (Shults i in., 2017), pomniki (Dogan, Yakar, 2018; Kuzyk, 2023) oraz dzieła sztuki (Tumeliene i in., 2017). Według Stojaković (2008) głównym celem takich pomiarów jest inwentaryzacja obiektu, prowadząca do jego wizualizacji w formie chmury punktów lub modelu 3D (ryc. 2), co potwierdza liczba opracowań w literaturze (Barazzetti i in., 2010; Krasić, Pejić, 2014; Elkhachy, 2019). Przygotowanie geowizualizacji 3D obiektu z pozyskanych danych fotogrametrycznych opiera się na kameralnym opracowaniu z wykorzystaniem specjalistycznego oprogramowania, takiego jak: Agisoft Metashape czy Pix4D. Taka forma dokumentacji pozwala na uzyskanie dokładnej geometrii obiektu, a dokładność wykonania takiego modelu 3D waha się w granicach kilku centymetrów, w zależności od jego wielkości. Jednak Świerczyńska i in. (2024) na przykładzie Pałacu Mieroszkowskich w Będzinie wykazali także, że naziemna fotogrametria jest wystarczająco dokładna do oceny przemieszczeń.

Do głównych zalet fotogrametrii naziemnej należą niski koszt oraz stosunkowo krótki czas pozyskiwania danych. Do wykonywania pomiarów wykorzystuje się aparat fotograficzny (Dworzak i in., 2015) lub smartfon (Świerczyńska i in., 2024),

co podkreśla brak konieczności stosowania specjalistycznego sprzętu. Procedura pomiaru polega na wykonaniu zobrażeń fotograficznych z różnych punktów wokół obiektu, przy czym istotne jest odpowiednie pokrycie zdjęć, aby możliwe było dopasowanie ich między sobą. Metoda ta nie jest szczególnie wrażliwa na warunki atmosferyczne i środowiskowe, np. niesprzyjającą pogodę. Kluczowa jest jedynie dostępność obiektu, który jest celem badań. Głównym ograniczeniem natomiast jest problem pozyskiwania danych na temat górnych partii budynków, takich jak dachy, co może uniemożliwić sporządzenie jego pełnej inwentaryzacji. Istotnym krokiem w procesie geowizualizacji 3D jest uwzględnienie odniesienia przestrzennego w wybranym układzie współrzędnych. W tym celu kluczowe jest założenie, a następnie pomiar współrzędnych (najczęściej metodą *Global Navigation Satellite Systems* –GNSS) punktów kontrolnych (*Ground Control Points*), które stanowią podstawę i pozwalają na określenie dokładnego położenia przestrzennego wizualizowanego obiektu w trójwymiarowym układzie współrzędnych.

Fotogrametria lotnicza z wykorzystaniem UAV

Fotogrametria niskiego pułapu lotniczego z wykorzystaniem UAV (ang. *Unmanned Aircraft Vehicle*) polega na pozyskiwaniu danych podczas przelotu platformy lotniczej wyposażonej w aparat fotograficzny lub czujnik o małym zasięgu. Pozymskie zdjęcia 2D mogą zostać przekształcone w informacje 3D za pomocą odpowiednich formuł matematycznych (Remondino, Rizzi, 2010). Najczęściej stosowanymi platformami do gromadzenia danych fotogrametrycznych są śmigłowce jednowirnikowe, wielowirnikowe oraz stałopłaty. Spośród wielowirnikowców najczęściej wykorzystywany jest *quadrocopter*, czyli platforma wyposażona w cztery śmigła (Pepe i in., 2022). Stałopłaty umożliwiają pomiar większych obszarów, lecz charakteryzują się ograniczonym udźwigniem oraz mniejszą odpornością na warunki atmosferyczne, w tym wiatr. Natomiast śmigłowce cechują się większą stabilnością oraz możliwością przenoszenia cięższego ładunku (aparatura), jednak ich zasięg przestrzenny pomiaru jest mniejszy (Murtiyoso i in., 2017).

Technologia UAV znajduje szerokie zastosowanie w pomiarach trudno dostępnych obiektów dziedzictwa kulturowego. Najczęściej wykorzystuje się ją do dokumentacji odkrywek archeologicznych, budynków dziedzictwa kulturowego oraz miejsc historycznych (Korumaz i in., 2014). W procesie dokumentacji istotne jest użycie algorytmu SfM (*Structure from Motion*), który umożliwia uchwycenie obiektu z różnych perspektyw oraz wykonanie procesu aerotriangulacji zobrażeń z wykorzystaniem osnowy w postaci GCP (*Ground Control Points*). Punkty te mogą być stabilizowane w terenie przy użyciu drewnianych palików pokrytych jaskrawą i precyzyjnie zmierzonych metodą GNSS, co pozwala na wygenerowanie szczegółowego modelu 3D o dokładności rzędu kilku milimetrów (Smaczyński, Horbiński, 2021).

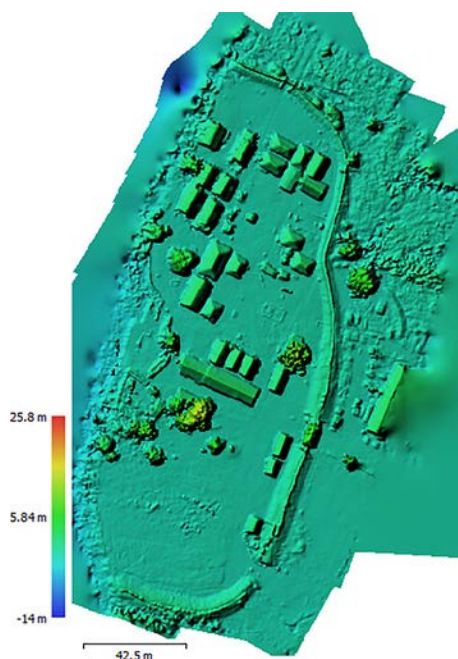
Dane pozyskane oraz przetworzone metodą fotogrametryczną w postaci modeli 3D charakteryzują się dużą dokładnością geometryczną zarówno pod względem kształtów, jak i wymiarów, co stanowi kluczowy aspekt w procesie dokumentacji dziedzictwa kulturowego (Smaczyński i in., 2022). Fotogrametria niskiego

pułapu lotniczego UAV jest też stosunkowo niskobudżetową metodą w porównaniu do innych technik pomiarów dziedzictwa kulturowego (Pérez i in., 2013).

Jednym z istotnych aspektów realizacji nalotów UAV jest świadomość potencjalnych zagrożeń oraz wpływu warunków atmosferycznych na stabilność platformy lotniczej. Konieczne jest odpowiednie zaplanowanie misji oraz szybkie reagowanie na nieprzewidziane sytuacje. Ze względu na operowanie na stosunkowo niskich wysokościach, przeloty UAV są bardziej podatne na wpływ warunków pogodowych niż przeloty na wyższych wysokościach. Szczególną uwagę należy zwrócić na warunki wietrzne oraz wahania temperatury. Podczas przelotu musimy być świadomi, że może dojść do zderzenia z przeszkodą terenową bądź poruszającym się obiektem, dlatego należy w odpowiedni sposób unikać przeszkód (Mahmoud-Zadeh i in., 2024).

Proces planowania nalotu odbywa się kameralnie z wykorzystaniem dedykowanego oprogramowania. Pierwszym etapem jest analiza obiektu pod kątem specyfiki pomiaru, określenie wymaganej rozdzielczości przestrzennej GSD (ang. *Ground Sample Distance*) oraz poziomu nakładania się na siebie zdjęć. W celu uzyskania dokładnych wyników konieczne jest nakładanie zdjęć na poziomie 60–80% (Nex, Remondino, 2014). Wybór odpowiedniego trybu misji UAV zależy od rodzaju dokumentacji. Dla modeli poglądowych 3D, ortofotomap oraz NMT można zastosować w pełni automatyczną misję. W przypadku dokładniejszej dokumentacji obiektów zabytkowych, w celu uchwycenia detali architektonicznych, stosuje się loty manualne lub połączenie misji automatycznej z manualną, co obejmuje zarówno zdjęcia poziome, jak i ukośne wokół obiektu. Czas pomiaru jest stosunkowo krótki i wynosi zazwyczaj kilkanaście minut w przypadku misji automatycznej, jednak może ulec wydłużeniu w zależności od liczby wymaganych zdjęć (Śledziowski, 2017).

Jednym z głównych ograniczeń tej metody jest krótki czas przelotu na jednej baterii, dlatego istotne jest zapewnienie akumulatorów zapasowych (Federman, 2017). W wyniku opracowania danych pozyskanych z wykorzystaniem fotogrametrii niskiego pułapu lotniczego jesteśmy w stanie uzyskać kilka przydatnych produktów, takich jak model 3D, NMT (ryc. 3) oraz ortofotomapa (Jagła i in., 2023).



Ryc. 3. NMT Centrum Słowian i Wikingów „Wolin-Jomsborg-Vineta”

Fig. 3. DEM of the Slavs and Vikings Centre “Wolin-Jomsborg-Vineta”

Naziemny skanিং laserowy (TLS)

Naziemny skanিং laserowy (TLS) to jedna z form skaningu laserowego (LIDAR), w której instrument pomiarowy umieszczony jest na statywie znajdującym się na powierzchni ziemi (Gawałkiewicz, 2015). Technika ta opiera się na emisji wiązek laserowych, które po odbiciu od przeszkód powracają do urządzenia, przekazując informacje o czasie odbicia, co umożliwia określenie odległości punktu od instrumentu pomiarowego (Drobek i in., 2018). TLS dostarcza dużą ilość precyzyjnych pomiarów przestrzennych (3D) przy jednoczesnej dużej automatyzacji przetwarzania i klasyfikacji chmur punktów (Wężyk, 2006). Poza zastosowaniem w dziedzinie geodezji TLS wykorzystywany jest w coraz większej liczbie zadań pomiarowych, m.in. inwentaryzacji zabytków i innych obiektów historycznych czy dokumentowaniu wyrobisk archeologicznych (Zaczek-Peplinska i in., 2015; Wilińska i in., 2018), tym samym czyniąc tę metodę pomiarową jedną z najszybciej rozwijających się w różnych branżach, które zajmują się ochroną dziedzictwa kulturowego (Bernat i in., 2014).

Dane uzyskiwane w wyniku pomiarów TLS to zbiór od kilkuset tysięcy do kilku milionów punktów o współrzędnych przestrzennych (X, Y, Z) i dokładności rzędu jednego do kilku milimetrów (Bernat i in., 2014; Garofous i in., 2022). W ochronie dziedzictwa kulturowego metoda ta znajduje zastosowanie w dokumentacji pojedynczych obiektów architektonicznych, budynków oraz budowli, takich jak kościoły (Rzonca, 2004; Niemiec, Gruchlik, 2016; Lipecki, 2020; Sobura i in., 2023), zamki i ich ruiny (Rodríguez-González i in., 2017; Drobek i in., 2018; Jagła i in., 2023), pomniki (Pagounis i in., 2010; Kuzyk i in., 2023) oraz konstrukcje inżynierskie (Woźniak i in., 2024). TLS umożliwia prowadzenie prac o różnej specyfice i o różnym celu, którym najczęściej jest inwentaryzacja danego obiektu, a docelową formą prezentacji wyniku pomiaru jest chmura punktów (Jagła i in., 2023) (ryc. 4) lub model 3D (Niemiec, Gruchlik, 2016). Dokładność uzyskiwanych wizualizacji pozwala na precyzyjne odwzorowanie geometrii, co czyni je cennym narzędziem w dokumentacji i rekonstrukcji w przypadku uszkodzeń lub zniszczenia obiektów o wartości historycznej (Karsznia i in., 2024). Chmura punktów, będąca rezultatem przetworzenia surowych danych, może także służyć do analizy przemieszczeń i odkształceń konstrukcji, co ma kluczowe znaczenie w monitorowaniu procesów degradacyjnych, np. fundamentów czy murów zabytków (Wilińska i in., 2018).

Do wykonania pomiaru metodą TLS wymagany jest specjalistyczny sprzęt oraz czasem odpowiednie oprogramowanie (w zależności od producenta). Podstawowy zestaw obejmuje skaner laserowy, statyw i ewentualne inne akcesoria (spodarka, znaczniki pomiarowe kulowe itp.) do realizacji pomiarów terenowych oraz komputer lub laptop o wysokiej mocy obliczeniowej do przetwarzania danych. Wysokie koszty zakupu i konserwacji sprawiają, że metoda ta jest inwestycją wymagającą znacznych nakładów finansowych (Westoby i in., 2018). Ze względu na uzyskanie wysokiej jakości danych, TLS można uznać za stosunkowo szybki rodzaj pomiaru (Hassani, 2015), jednak mimo to należy mieć na uwadze, że kompleksowa dokumentacja obiektu dziedzictwa kulturowego wymaga przeprowadzenia skanowania



Ryc. 4. Chmura punktów ruin zamku w Kole (Gozdów)

Fig. 4. Point cloud of the ruins of the castle in Koło (Gozdów)

z kilku do kilkunastu stanowisk, gdzie pomiar z pojedynczego stanowiska może trwać od kilku do kilkunastu minut, co może wskazywać nawet na kilka godzin prac terenowych. Średni czas pomiaru sprawia, że metoda ta jest preferowana do badań pojedynczych obiektów lub niewielkich obszarów, a nie rozległych terenów. Niewątpliwą zaletą tej technologii jest łatwość pozyskania danych oraz niska zależność od warunków środowiskowych. Ważna jest natomiast stabilność gruntu, tak aby zapewniona była nieruchoma pozycja instrumentu pomiarowego przez czas trwania pomiaru na każdym stanowisku (Woźniak i in., 2024). W kwestiach organizacyjnych i technicznych istotne jest umiejętne rozmieszczenie stanowisk, tak aby pozyskane skany pokrywały się z częścią danych z sąsiednich stanowisk. Ponadto konieczne jest zabezpieczenie obszaru badań od działań osób postronnych. Często badania z użyciem TLS idą w parze z pomiarem punktów kontrolnych (GCP) z wykorzystaniem technologii GNSS, które stanowią ośnowę i umożliwiają nawiązanie pozyskanych skanów w jedną całość, wpasowując mierzony obszar w trójwymiarowy układ współrzędnych.

Dyskusja

Ze względu na typ pozyskania danych przestrzennych dla poszczególnych metod można wyróżnić dwie formy: współrzędne punktów (X, Y, Z) zapisane we wskazanym trójwymiarowym układzie współrzędnych oraz fotografie 2D. Pozyskanie danych w postaci współrzędnych prostokątnych płaskich (X, Y) oraz współrzędnej wysokościowej (Z) stanowi podstawę pomiaru metodami: tachimetrii i TLS. Klu-

czowe jest tutaj zastosowanie właściwego układu odniesienia, aby umożliwić poprawną lokalizację punktów w przestrzeni geograficznej. W przypadku fotogrametrii naziemnej, fotogrametrii z niskiego pułapu lotniczego, niezależnie od odległości obiektu od instrumentu pozyskującego zobrazowania, uzyskujemy fotografie 2D.

W niniejszym artykule podział ze względu na typ obiektu lub obszaru związanego z dziedzictwem kulturowym, który jest poddany pomiarowi, oparto na klasyfikacji zaproponowanej w art. 1 Konwencji w sprawie dziedzictwa kulturowego i naturalnego (Konwencja w sprawie ochrony światowego dziedzictwa kulturalnego i naturalnego, 1972). Każda z analizowanych metod (tachimetria, fotogrametria naziemna, TLS) jest szeroko stosowana do pomiarów pojedynczych zabytków czy innych obiektów dziedzictwa kulturowego (Kersten i in., 2004; Ragia i in., 2015; Alby, 2015; Smaczyński, Horbiński, 2021; Jagła i in., 2023; Woźniak i in., 2024). Z racji zalet pułapu lotniczego umożliwiającego efektywniejsze pozyskanie danych o stosunkowo większej powierzchni niż obszar, który zazwyczaj obejmuje: pomiary tachimetryczne, pomiary z użyciem fotogrametrii naziemnej czy TLS, zdefiniowano, że fotogrametria z niskiego pułapu lotniczego z zastosowaniem UAV jest najkorzystniejsza do prezentacji zespołów zabytków, które interpretujemy jako zbiór położonych blisko siebie budowli, które ze względu na swoją architekturę tworzą nierozłączną całość z krajobrazem (Konwencja w sprawie ochrony światowego dziedzictwa kulturalnego i naturalnego, 1972).

Na podstawie przeglądu literatury określono trzy podstawowe cele pomiarów stosowanych w kontekście badań obiektów dziedzictwa kulturowego. Najczęściej spotykaną formą wzbogacania dokumentacji na temat obiektu w kontekście wykorzystania danych przestrzennych jest geowizualizacja 3D (Barazzetti i in., 2010; Krasić, Pejić, 2014; Niemiec, Gruchlik, 2016; Elkhachy, 2019; Smaczyński, Horbiński, 2020). Uzyskanie modelu 3D danego obiektu jest możliwe dzięki wykorzystaniu metod fotogrametrycznych (fotogrametria naziemna, fotogrametria lotnicza) oraz metod skaningu laserowego (TLS) lub w wyniku łączenia tych metod (Jagła i in., 2023; Kuzyk, 2023). Innym celem pomiaru w ramach ochrony dziedzictwa kulturowego może być badanie przemieszczeń (pionowych i/lub poziomych) i/lub odkształceń obiektu, co ma kluczowe znaczenie w procesie konserwacji (Karsznia i in., 2024). Do tego rodzaju pomiarów geodezyjnych w zakresie dziedzictwa kulturowego najczęściej wykorzystuje się metody zapewniające możliwie najwyższą dokładność, przede wszystkim tachimetrię (Woźniak i in., 2024) oraz TLS (Wilińska in., 2018).

Analizowane w niniejszej pracy metody pomiarowe można uznać za zdecydowanie dokładniejsze od tradycyjnych metod pomiarowych, np. pomiarów ręcznych z wykorzystaniem taśm, miarek czy dalmierzy laserowych (Drobek i in., 2018), co pokazuje, jak istotny wpływ na ochronę dziedzictwa kulturowego miał rozwój technologii. Jednak porównując opisywane metody względem siebie, można stwierdzić, że najdokładniejsze dane możemy uzyskać w wyniku pomiaru TLS i tachimetrii, szacując dokładność na od jednego do kilku milimetrów błędu na pomiarze pojedynczego punktu. Mniejszą dokładność, choć równie wystarczającą do realizacji prac (Świerczyńska i in., 2024) w zakresie ochrony dziedzictwa kulturowego, zapewniają metody fotogrametryczne.

Analizując czas pozyskania danych, należy stwierdzić, że istotne jest uwzględnienie jakości pozyskanych danych i obszaru badań. Z tego powodu ocena czasochłonności pomiaru powinna być dokonywana w sposób względny. Przykładowo możemy założyć, że pomiar tachimetryczny i TLS jednakowego obiektu może trwać porównywalnie długo. Jednak podczas gdy TLS pozwala uzyskać pomiar współrzędnych kilkuset tysięcy, a nawet kilku milionów punktów, w pomiarze tachimetrycznym można liczyć na pomiar współrzędnych kilkudziesięciu lub kilkuset punktów, co czyni tachimetrię stosunkowo długim pomiarem, a TLS krótkim. Podobnie wygląda kwestia pomiaru z pułapu lotniczego (fotogrametria z wykorzystaniem UAV), gdzie w krótkim czasie pozyskujemy dane na temat danego obszaru lub obiektu, pomimo konieczności poświęcenia czasu np. na zaplanowanie nalotu, przygotowanie sprzętu oraz zachowanie odpowiednich środków bezpieczeństwa przy starcie i lądowaniu. Jednak zdaniem autorów najkrótszym rodzajem pomiaru jest fotogrametria naziemna, która nie wymaga wcześniej wspomnianych procedur jak w przypadku chociażby fotogrametrii lotniczej. Fotografie 2D wykonuje się z powierzchni ziemi, przez co w przypadku pojedynczego obiektu czas pomiaru uważa się za relatywnie krótki.

Wysokie koszty zastosowania wymienionych metod są jedną z bardziej problematycznych kwestii z uwagi na dominującą wysoką lub bardzo wysoką cenę sprzętu, niezbędnego do realizacji prawie wszystkich sposobów pozyskiwania i prezentacji danych o obiektach dziedzictwa kulturowego. W tym zestawieniu na pierwszy plan zdecydowanie wysuwa się fotogrametria naziemna, która ze względu na użycie aparatu fotograficznego (Dworzak i in., 2015) lub smartfona (Świerczyńska i in., 2024) jest mało kosztowna, a są to też urządzenia używane w życiu codziennym. Po drugiej stronie znajdują się pozostałe metody pomiarowe, odznaczające się wymogiem użycia sprzętu specjalistycznego. Zarówno tachimetria, jak i fotogrametria lotnicza z wykorzystaniem UAV może kosztować średnio kilka tysięcy dolarów, w zależności od parametrów posiadanych przez danych model tachimetru bądź bezzałogowego statku powietrznego. Jeszcze wyżej w kwestii kosztowności plasuje się naziemny skaningu laserowego (TLS). Jak podają Westoby i in. (2018), wymaga on dużych nakładów finansowych pod kątem zakupu oraz konserwacji sprzętu.

Ograniczenia techniczne pomiarów uwiadcniają się głównie w dwóch czynnościach, niezbędnych do pomiaru obiektów dziedzictwa kulturowego. Pierwsza z nich dotyczy konieczności pomiaru osnowy geodezyjnej, gwarantującej możliwość odniesienia przestrzennego pozyskanych danych w dalszych etapach ich opracowania. Dla fotogrametrii naziemnej, fotogrametrii lotniczej z wykorzystaniem UAV oraz naziemnego skaningu laserowego (TLS) osnowa oparta jest często na pomiarze punktów kontrolnych metodą GNSS (*Global Navigation Satellite System*), co pozwala na dokładne określenie położenia przestrzennego wizualizowanego obiektu w trójwymiarowym układzie współrzędnych. Dla tachimetrii osnowę uzyskujemy poprzez nawiązanie do zasygnalizowanych punktów osnowy czy też punktów kontrolnych. Niezależnie od używanej metody, rozmieszczenie punktów projektowanej osnowy powinno być względnie równomierne. Wspomniany czynnik wpływa bowiem na wszystkie metody pod kątem lokalizacji stanowisk pomiarowych. Dodatkowo fotogrametria lotnicza

z zastosowaniem UAV obligeuje do poprawnego zaplanowania operacji nalotu fotogrametrycznego.

Ograniczenia środowiskowe mogą oddziaływać w różnym stopniu na wybraną metodę pomiarową. Niestabilność podłoża, na którym umieszczone zostanie stanowisko pomiarowe, oddziałuje przy zastosowaniu tachimetrii oraz naziemnego skaningu laserowego (TLS), gdzie stabilność gruntu zapewnia nieruchomą pozycję instrumentu pomiarowego przez czas trwania pomiaru (Woźniak i in., 2024). Zależność od warunków pogodowych jest mocno widoczna podczas stosowania zarówno tachimetrii, jak i fotogrametrii lotniczej z wykorzystaniem UAV, wymagających sprawnej reakcji na nagłe zmiany zachodzące w pogodzie, takie jak podmuch wiatru czy opady deszczu. Dodatkowo druga z wyżej wymienionych metod jest narażona na wystąpienie przeszkód terenowych. Podobnie jak w tachimetrii powoduje to nie tylko zmniejszenie widoczności obiektów, ale też zwiększa ryzyko wystąpienia kolizji. W mniejszym stopniu warunki atmosferyczne oddziałują na naziemny skaningu laserowy (TLS). Zdecydowanie najlepiej pod tym względem wypada fotogrametria naziemna, która nie jest szczególnie wrażliwa na warunki atmosferyczne.

W kwestii pozostałych możliwych ograniczeń dla metod pozyskiwania i prezentacji obiektów dziedzictwa kulturowego ważną część stanowią ograniczenia prawne, w szczególności związane z prawem lotniczym. Dotyczą one fotogrametrii lotniczej z wykorzystaniem UAV, gdzie pułap, na jakim mogą znajdować się przyrządy pomiarowe, musi spełniać wymogi prawne co do maksymalnej wysokości w danym miejscu. Ograniczeniem może być również brak możliwości zbadania elementów obiektu dziedzictwa kulturowego, które znajdują się na pewnej wysokości. Dlatego fotogrametria naziemna, tachimetria oraz naziemny skaningu laserowy (TLS) zmniejszają szansę pozyskania danych o wyższych partiach obiektu dziedzictwa kulturowego, uniemożliwiając przeprowadzenie pełnej inwentaryzacji. Większość wspomnianych metod charakteryzuje nieinwazyjność względem badanego obiektu oraz otaczającego go obszaru. W niewielkim stopniu może być jednak ona widoczna w pomiarach tachimetrycznych, gdzie w niektórych sytuacjach konieczne jest zamontowanie tarczek/folii dalmierycznych na powierzchni budynku w celu pomiaru elementów takich, jak krawędź czy jego załamanie. Dane, które uzyskujemy w wyniku prowadzonych badań, z reguły nie wymagają specjalistycznego oprogramowania oraz sprzętu, potrafiącego wygenerować dużą moc obliczeniową. Wyjątkiem jest naziemny skaningu laserowy (TLS), pozyskujący duże ilości dokładnych danych. Do ich opracowania potrzebny jest komputer, którego parametry techniczne zdecydowanie wykraczają poza te widoczne w większości komputerów czy laptopów dostępnych na rynku.

W sposobie prezentacji danych przestrzennych widać dużą możliwość użycia kilku różnych metod pomiarowych dla uzyskania tej samej formy prezentacji. Przedstawienie danych o obiektach dziedzictwa kulturowego z wykorzystaniem chmury punktów może być oparte na fotogrametrii naziemnej (Elkhrachy, 2019), fotogrametrii lotniczej z wykorzystaniem UAV oraz naziemnym skaningu laserowym (Wężyk, 2006). Chmura punktów jest punktem wyjścia dla wymienionych metod do sporządzenia trójwymiarowego modelu, często też łącząc je (Kuzyk,

2023). Metoda stosowana na określonych pułapach, a więc fotogrametria lotnicza, wyróżnia się w tym aspekcie szczególnie, ponieważ poza wspomnianą chmurą punktów i modelem 3D dane z pomiaru mogą przyjąć postać ortofotomapy bądź Numerycznego Modelu Terenu (NMT). Zdecydowanie ubogo wypada prezentacja danych pochodzących z pomiaru tachymetrycznego, zawartych w formie tabeli bądź wykazu zmian w określonym formacie.

Podsumowanie powyższych akapitów przedstawiono w formie tabelarycznej (ryc. 5).

	 Tachimetria	 Fotogrametria naziemna	 Fotogrametria lotnicza z wykorzystaniem UAV	 Nazemny skanowanie laserowy (TLS)
Typ pozyskanych danych	Współrzędne XYZ	Fotografie 2D	Fotografie 2D	Współrzędne XYZ
Typ obiektu/ obszaru	Zabytek	Zabytek	Zabytek, zespół zabytków	Zabytek
Cel pomiaru	Badanie przemieszczeń i/lub odkształceń	Geowizualizacja 3D	Geowizualizacja 3D	Geowizualizacja 3D, badanie przemieszczeń i/lub odkształceń
Dokładność pomiaru	Od jednego do kilku milimetrów	Kilka centymetrów	Kilka milimetrów do kilku centymetrów	Od jednego do kilku milimetrów
Czas pozyskania danych*	Stosunkowo długi	Krótki	Stosunkowo krótki	Stosunkowo krótki
Kosztowność pomiaru	Wysoka	Niska	Stosunkowo niska	Bardzo wysoka
Ograniczenia techniczne pomiaru	Konieczność pomiaru osnowy, umiejętne zaplanowanie lokalizacji stanowisk pomiarowych	Konieczność pomiaru osnowy, umiejętne zaplanowanie lokalizacji stanowisk pomiarowych	Konieczność pomiaru osnowy, umiejętne zaplanowanie lokalizacji stanowisk pomiarowych, umiejętne zaplanowanie nalotu fotogrametrycznego	Konieczność pomiaru osnowy, umiejętne zaplanowanie lokalizacji stanowisk pomiarowych
Ograniczenia środowiskowe	Zależność od warunków atmosferycznych, wymóg stabilnego gruntu	- - -	Bardzo wysoka zależność od warunków atmosferycznych, przeszkody terenowe	Niska zależność od warunków atmosferycznych, wymóg stabilnego gruntu
Inne ograniczenia	Niska inwazyjność, brak widoczności całego obiektu	Częsty problem z pozyskiwaniem danych dotyczących górnych partii obiektu np. dachu	Krótki czas operacji na jednej baterii	Konieczność dostępu do sprzętu o wysokiej mocy obliczeniowej
Forma prezentacji danych przestrzennych	Tabela, wykaz zmian, rycina	Chmura punktów, model 3D	Chmura punktów, model 3D, NMT, ortofotomapa	Chmura punktów, model 3D

*przy uwzględnieniu jakości pozyskanych danych i wielkości obszaru badań

Ryc. 5. Zestawienie tabelaryczne z porównaniem metod pozyskania i prezentacji danych
Fig. 5. Tabular summary comparing methods of data acquisition and presentation

Wnioski

Niniejszy artykuł miał na celu zestawienie i porównanie współcześnie wykorzystywanych metod pozyskania i prezentacji danych przestrzennych w kontekście ochrony dziedzictwa kulturowego. Analizę porównawczą wykonano na podstawie dziesięciu zdefiniowanych wcześniej aspektów: typu pozyskania danych, typu obiektu/obszaru, celu pomiaru, dokładności pomiaru, czasu pozyskania danych, kosztowności pomiaru, ograniczeń technicznych pomiaru, ograniczeń środowiskowych, innych ograniczeń i formy prezentacji danych przestrzennych. Określono, że każda metoda cechuje się szeregiem zalet i ograniczeń w kontekście realizacji prac związanych z tworzeniem lub wzbogacaniem treści dokumentacji obiektów historycznych czy kulturowych.

Niniejsza analiza i zestawienie tabelaryczne mogą być pomocne na etapie planowania różnych działań łączących nauki inżynierskie (w szczególności geodezję i kartografię) z ochroną dziedzictwa kulturowego. Ponadto wartym podkreślenia jest fakt, że każdy pomiar ze względu na obiekt/obszar, który ma być poddany analizie, cel pomiaru oraz różne formy ograniczeń, np. środowiskowe, prawne czy techniczne, jest unikalny, dlatego do każdej pracy geodezyjno-kartograficznej z zakresu ochrony dziedzictwa kulturowego należy podchodzić indywidualnie. Z tego względu niemożliwe jest jednoznaczne określenie, którą metodę można uznać za najbardziej przydatną. Warto zaznaczyć, że zaobserwowano dużą różnorodność wykorzystywania każdej z analizowanych metod w badaniach z zakresu ochrony dziedzictwa kulturowego. Oprócz tego w wyniku kwerendy literatury zauważono, że często spotykaną sytuacją jest stosowanie dwóch lub kilku metod pozyskania danych przestrzennych w badaniach konkretnego obiektu/obszaru, co potwierdza użyteczność, ale też niedoskonałość każdej metody.

Literatura

- Alby E., 2015, Point cloud vs drawing on archaeological site, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-5/W7: 7–11, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-7-2015>
- Barazzetti L., Scaioni M., Remondino F., 2010, Orientation and 3D modelling from markerless terrestrial images: combining accuracy with automation, *The Photogrammetric Record*, 25(132): 356–381, <https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2010.00599.x>
- Batyk I.M., 2010, Dziedzictwo kulturowe Warmii, *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2: 35–43.
- Bernat M., Janowski A., Rzepa S., Sobieraj A., Szulwic J., 2014, Studies on the use of terrestrial laser scanning in the maintenance of buildings belonging to the cultural heritage, [w:] 14th Geoconference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, SGEM. ORG, Albena, Bulgaria, 3: 307–318.
- Bęben D., Anigacz W., Kwiatkowski J., 2016, Ocena przydatności geodezyjnych metod pomiarowych do badań przemieszczeń mostu wiszącego, <http://dx.doi.org/10.7862/rb.2016.45>

- Boochs F., Heinz G., Huxhagen U., Müller H., 2007, Low-cost image based system for nontechnical experts in cultural heritage documentation and analysis.
- Campbell P.B., 2009, High tech on a budget: recording maritime cultural heritage using a Total Station, RhinoPhoto, and Rhinoceros NURBS, [w:] Making history interactive, Proceedings of the 37th International conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) (BAR international series, Vol. 2079), Williamsburg, Virginia, USA.
- Dmochowska-Dudek K., 2016, Fotogrametria bliskiego zasięgu – nowe możliwości dla badań w geografii osadnictwa, [w:] A. Suliborski, M. Wójcik (red.), Nowe i stare perspektywy i ujęcia w geografii na przełomie XX i XXI wieku, Podstawowe Idee i Koncepcje w Geografii, 9: 173–186.
- Doğan Y., Yakar M., 2018, GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages, International Journal of Engineering and Geosciences, 3(2): 50–55, <https://doi.org/10.26833/ijeg.378257>
- Doneus M., Briese C., 2011, Airborne Laser Scanning in forested areas – potential and limitations of an archaeological prospection technique, Remote Sensing for Archaeological Heritage Management, 3: 59–76.
- Drobek K., Szostak B., Królikowski W., 2018, Metody inwentaryzacji obiektów znajdujących się w stanie ruiny, Protection of Cultural Heritage, 6: 73–86, <https://doi.org/10.35784/odk.875>
- Dworzak M., Biessikowski A., Pyra J., Sołtys A., Winzer J., 2015, Wstępna analiza możliwości zastosowania cyfrowej niemetrycznej fotogrametrii naziemnej z wykorzystaniem metody SfM (Structure-from-Motion) w robotach strzałowych, Przegląd Górniczy, 71(9): 61–68.
- Elkhrachy I., 2019, Modeling and Visualization of Three Dimensional Objects Using Low-Cost Terrestrial Photogrammetry, International Journal of Architectural Heritage, 14(10): 1456–1467, <https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1613454>
- Federman A., Santana Quintero M., Kretz S., Gregg J., Lengies M., Ouimet C., Laliberte J., 2017, UAV photogrammetric workflows: A best practice guideline, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42: 237–244, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-237-2017>
- Garofous G., Ioannidou S., Kanellopoulos N., Pantazis G., 2022, Documentation of Cultural Heritage Monuments, by Introducing New Surveying Technologies: Implementation in Sarlitzia Pallas, https://doi.org/10.1007/978-3-031-20253-7_14
- Gawałkiewicz R., 2015, The inventory of high objects applying laser scanning, focus on the cataloguing a reinforced concrete industrial chimney, Geoinformatica Polonica: 95–107, <https://doi.org/10.1515/gein-2015-0009>
- Gaździcki J., 2001, Leksykon geomatyczny, Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej.
- Golka J., Haliński J., 2000, Fotogrametria cyfrowa w architekturze – nowe możliwości inwentaryzacji i archiwizacji obiektów, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 10: 38–1–38–7.
- Gołuch P., 2003, Numeryczny model terenu, numeryczny model pokrycia terenu i ortofotomapa jako źródło danych dla przeprowadzenia modelowania hydrodynamicznego, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 13: 361–370.
- Grussenmeyer P., Landes T., Voegtli T., 2014, Comparison Methods of Terrestrial Laser Scanning, Photogrammetry and Tacheometry Data for Recording of Cultural Heritage Buildings, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 37: 213–218.
- Hassani F., 2015, Documentation of cultural heritage; techniques, potentials, and constraints, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and

- Spatial Information Sciences, 40: 207–214, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-207-2015>
- Jagielski A., 2003, *Geodezja II*, Wydawnictwo Stabil.
- Jagła R., Kapuścińska O., Lewko S., Rymarkiewicz W., Woźniak J., 2023, Porównanie metod pomiarów inwentaryzacyjnych obiektów dziedzictwa kulturowego na przykładzie ruin zamku w Kole (Gozdów), [w:] A. Kostrzewski (red.), *Kompleksowe badania środowiska geograficznego*, *Geoprzestrzeń*, 7: 113–124.
- Karsznia K., Książek K., Świerczyńska E., Smaczyński M., Odziemczyk W., 2024, Ocena możliwości zastosowania narzędzi modelowania 3D do określenia stanu bezpieczeństwa zabytkowych obiektów budowlanych, [w:] A. Bazan-Krzyszowska (red.), *SatGISPlan 2024*, s. 7–29.
- Kersten T., Pardo C.A., Lindstaedt M., 2004, 3D acquisition, modelling and visualization of north German castles by digital architectural photogrammetry, *Proc. ISPRS XXth Congress*, s. 126–131.
- Klimkowska H., Wróbel A., 2006, Uwagi o wykorzystaniu tachimetrów bezlusterkowych w inwentaryzacji architektonicznej, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 16: 297–303.
- Konwencja w sprawie ochrony światowego dziedzictwa kulturalnego i naturalnego, przyjęta w Paryżu dnia 16 listopada 1972 r. przez Konferencję Generalną Organizacji Narodów Zjednoczonych dla Wychowania, Nauki i Kultury na jej siedemnastej sesji (Dz.U. 1976 nr 32, poz. 190).
- Korumaz A.G., Korumaz M., Tucci G., Bonora V., Niemeier W., Riedel B., 2014, UAV systems for documentation of cultural heritage, [w:] *ICONARCH International Congress of Architecture and Planning*, s. 448–459.
- Krasić S., Pejić P., 2014, Comparative analysis of terrestrial semi-automatic and automatic photogrammetry in 3D modeling process, *Nexus Network Journal*, 16: 273–283, <https://doi.org/10.1007/s00004-014-0188-6>
- Kurczyński Z.F., 2014, *Fotogrametria*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kuzyk Z., 2023, The use of modern measurement methods in the inventory of endangered cultural heritage objects in Lviv, *Journal of Modern Technologies for Cultural Heritage Preservation*, 2(2), <https://doi.org/10.69534/jmtchp/191347>
- Legotko-Kobus P., 2016, Dziedzictwo kulturowe jako czynnik rozwoju i specjalizacji regionów, *Studia Komitetu Przestrzennego Zagospodarowania Kraju PAN*, 170.
- Lipecki T., 2020, Geodetic and Architectural Inventory of the Historic Wooden Church of St. Szczepan in Mnichów (Poland) in Terms of Safety Assessment of the Geometric Condition of the Structure, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-107843/v1>
- Mahmoud Zadeh S., Yazdani A., Kalantari Y., Ciftler B., Aidarus F., Al Kadri M.O., 2024, Holistic review of UAV-centric situational awareness: Applications, limitations, and algorithmic challenges, *Robotics*, 13(8): 117, <https://doi.org/10.3390/robotics13080117>
- Markiewicz J.S., Zawieska D., 2014, Terrestrial scanning or digital images in inventory of monumental objects? – case study, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40: 395–400, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-395-2014>
- Mitka B., Szelest P., 2013, Problematyka pozyskiwania i przetwarzania danych fotogrametrycznych z naziemnego skaningu laserowego na potrzeby tworzenia portali edukacyjnych i wirtualnych muzeów na przykładzie Katedry Wawelskiej, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 25: 107–115.
- Murtiyoso A., Koehl M., Grussenmeyer P., Freville T., 2017, Acquisition and processing protocols for UAV images: 3D modelling of historical buildings using photogramme-

- try, [w:] 26th CIPA International Symposium ISPRS, 28 August–1 September 2017, Ottawa, Canada, s. 4.
- Nex F., Remondino F., 2014, UAV for 3D mapping applications: a review, *Applied Geomatics*, 6: 1–15, <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
- Niemiec T., Gruchlik P., 2016, Rectification of the church building in Bytom Miechowice and the results of laser scanning 3D, *Geoinformatica Polonica*, 15: 103–112.
- Ochalek A., Jabłoński M., Lipiecki T., Jaśkowski W., 2018, Methodology of Historical Underground Objects Inventory Surveys-Contribution, <https://doi.org/10.4467/21995923GP.18.004.9161>
- Pagounis V., Arabatzis O., Tsakiri M., Tsini D., 2010, Geodetic technology for cultural heritage monitoring – The case study of Klepsydra at the acropolis of Athens, [w:] *Proc. 8th Intern., Symp. Conserv. Monuments Mediterranean Basic*.
- Pepe M., Alfio V.S., Costantino D., 2022, UAV Platforms and the SfM-MVS Approach in the 3D Surveys and Modelling: A Review in the Cultural Heritage Field, *Applied Sciences*, 12(24): 12886, <https://doi.org/10.3390/app122412886>
- Pérez M., Agüera F., Carvajal F., 2013, Low cost surveying using an unmanned aerial vehicle, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40: 311–315, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W2-311-2013>
- Powałowska D., Hajdrowski P., Stróżyk M., Osses A., Woźniak J., 2024, Ocena wybranych metod graficznej prezentacji obszaru delty rzecznej na przykładzie Wstecznej Delty Świny, [w:] A. Kostrzewski (red.), *Wybrane metody badań środowiska geograficznego Polski, Geoprzestrzeń*, 8: 85–101.
- Prarat M., 2015, Wykorzystanie tachimetrii i fotogrametrii w dokumentacji zabytków architektury na przykładzie inwentaryzacji pomiarowo-rysunkowej wybranych kamienic toruńskich, *Acta Universitatis Nicolai Copernici Zabytkoznawstwo i Konserwatorstwo*, 46: 509–531, https://doi.org/10.12775/AUNC_ZiK.2015.020
- Ragia L., Sarri F., Mania K., 2015, Precise photorealistic visualization for restoration of historic buildings based on tacheometry data, <https://doi.org/10.1007/s10109-018-0267-4>
- Remondino F., Rizzi A., 2010, Reality-based 3D documentation of natural and cultural heritage sites – techniques, problems, and examples, *Appl. Geomat.*, 2: 85–100, <https://doi.org/10.1007/s12518-010-0025-x>
- Risbøl O., Briese C., Doneus M., Nesbakken A., 2015, Monitoring cultural heritage by comparing DEMs derived from historical aerial photographs and airborne laser scanning, *Journal of Cultural Heritage*, 16(2): 202–209, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.04.002>
- Rodríguez-González P., Jimenez Fernandez-Palacios B., Muñoz-Nieto Á.L., Arias-Sanchez P., Gonzalez-Aguilera D., 2017, Mobile LiDAR system: New possibilities for the documentation and dissemination of large cultural heritage sites, *Remote Sensing*, 9(3): 189, <https://doi.org/10.3390/rs9030189>
- Rzonca A., 2004, Współczesne metody kompleksowej inwentaryzacji zabytków na przykładzie parafialnego kościoła w Michalicach, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 14: 1–8.
- Shults R., Krelshtein P., Kravchenko I., Rogoza O., Kyselov O., 2017, Low-cost Photogrammetry for Culture Heritage, [w:] “Environmental Engineering” 10th International Conference Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania, <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.237>

- Smaczyński M., Horbiński T., 2021, Creating 3D Model of the Existing Historical Topographic Object Based on Low-Level Aerial Imagery, *KN J. Cartogr. Geogr. Inf.*, 71: 33–43, <https://doi.org/10.1007/s42489-020-00061-0>
- Smaczyński M., Lorek D., Zagata K., Horbiński T., 2022, Cultural Heritage with the Use of Low-Level Aerial Survey Techniques, Space Modelling and Multimedia Reconstruction of the Topographic Landscape (Example of a Windmill in Western Poland), *KN J. Cartogr. Geogr. Inf.*, 72: 279–291, <https://doi.org/10.1007/s42489-022-00122-6>
- Sobura S., Bacharz K., Granek G., 2023, Analysis of two-option integration of unmanned aerial vehicle and terrestrial laser scanning data for historical architecture inventory, *Geodesy and Cartography*, 49(2): 76–87, <https://doi.org/10.3846/gac.2023.16990>
- Stojaković V., 2008, Terrestrial photogrammetry and application to modeling architectural objects, *Facta universitatis-series: Architecture and Civil Engineering*, 6(1): 113–125, <https://doi.org/10.2298/FUACE0801113S>
- Szymański P., Wojciechowska G., Zając M., 2018, Tworzenie chmur punktów obiektów architektonicznych metodami fotogrametrii naziemnej, [w:] E. Łużyńska (red.), *Dziedzictwo architektoniczne. Badania podstawowe i ich dokumentowanie*, Oficyna Wydawnicza PWR, Wrocław, s. 119–135.
- Śledziowski J., 2017, Zastosowanie niskobudżetowych bezałogowych platform w analizach przestrzennych i w cyfrowej archiwizacji zabytków, *Problemy Nauk Stosowanych*, 6: 217–232.
- Świerczyńska E., Karsznia K., Książek K., Odziemczyk W., 2024, Investigating diverse photogrammetric techniques in the hazard assessment of historical sites of the Museum of the Coal Basin Area in Będzin, Poland, *Reports on Geodesy*, 118: 70–81, <https://doi.org/10.2478/rgg-2024-0016>
- Tumeliene E., Nareiko V., Sužiedelytė Visockienė J., 2017, Photogrammetric measurements of heritage objects, *ISPRS. Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-5/W1: 71–76, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-5-W1-71-2017>
- Westoby M.J., Lim M., Hogg M., Pound M.J., Dunlop L., Woodward J., 2018, Cost-effective erosion monitoring of coastal cliffs, *Coastal Engineering*, 138: 152–164, <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2018.04.008>
- Wężyk P., 2006, Wprowadzenie do technologii skaningu laserowego w leśnictwie, *Roczniki Geomatyki – Annals of Geomatics*, 4(4): 119–132.
- Wilińska M., Kędzierski M., Fryśkowska A., Deliś P., 2012, Noninvasive methods of determining historical objects deformation using TLS, *Structural Analysis of Historical Construction*, 3: 2582–2588.
- Wojciechowska G., 2019, Case Studies on the Use of UAV's for Documentation of Cultural Heritage, *Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing*, 31(1): 65–73, <https://doi.org/10.2478/apcrs-2019-0005>
- Woźniak J., Rymarkiewicz W., Jagła R., Łyszczasz D., Karczewski W., 2024, Difficulties and limitations of surveying measurements on the cliff coast: A case study of the stairs to Kawcza Góra (Wolin Island), [w:] A. Kostrzewski (red.), *Wybrane metody badań środowiska geograficznego Polski, Geoprzestrzeń*, 8: 121–134.
- Zaczek-Peplinska J., Góra A., Grzyb M., 2015, Analiza statystyczna wartości Intensity (TLS) zarejestrowanych na powierzchni konstrukcji betonowej, [w:] M. Kwaśniak (red.), *Techniki inwentaryzacji i monitoringu obiektów inżynierskich*, Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej.

Methods of acquiring and presenting spatial data in the context of cultural heritage protection – analysis and comparison of features

Abstract: The aim of the article was a comparative analysis of methods used for acquiring and presenting spatial data in the context of cultural heritage protection. The following measurement techniques were distinguished: tacheometry, terrestrial photogrammetry, low-altitude aerial photogrammetry using UAVs, and terrestrial laser scanning (TLS). The methods were first analyzed and then presented in a tabular form, with particular emphasis on factors such as the type of acquired data, type of object/area, measurement purpose, measurement accuracy, data acquisition time, cost, technical limitations, environmental constraints, other restrictions, and forms of spatial data presentation. It was determined that each method has a range of advantages and limitations concerning the implementation of works related to the creation or enhancement of documentation of historical and cultural objects. The authors pointed out that this analysis could be useful in the planning stage of various activities combining engineering disciplines – particularly geodesy and cartography with the protection of cultural heritage.

Keywords: cultural heritage, measurement methods, comparative analysis, spatial data acquisition, forms of spatial data presentation

Sekcja Kartografii i Geomatyki
Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Jakub Woźniak

Analiza jakościowa symboli punktowych reprezentujących obiekty związane z pieszą turystyką górską na przykładzie wybranych aplikacji mapowych

Zarys treści: Produkty kartograficzne odgrywają kluczową rolę w pieszej turystyce górskiej. Wraz ze wzrostem popularności tej formy aktywności rośnie liczba użytkowników map turystycznych, przy czym coraz większe znaczenie zyskują internetowe i mobilne aplikacje mapowe, umożliwiające m.in. planowanie tras czy nawigację. Podstawową metodą prezentacji kartograficznej tych produktów kartograficznych jest metoda sygnaturowa. Zważając na kluczową rolę symboli punktowych (sygnatur punktowych), przeprowadzono analizę jakościową 16 rodzajów sygnatur reprezentujących obiekty związane z pieszą turystyką górską (szczególnie tych często występujących w okolicach oznakowanych szlaków turystycznych). Badaniem objęto 4 popularne internetowe aplikacje mapowe: OpenStreetMap, MapaTurystyczna.pl, Mapy.com (do I kwartału 2025 roku znane jako Mapy.cz) i Locus Map. Sygnatury zestawiono w formie tabelarycznej i porównano je, koncentrując się przede wszystkim na zmiennych wizualnych (graficznych): koloru i kształtu. Wykazano znaczącą różnorodność w projektowaniu graficznym symboli punktowych, w szczególności pod względem kolorystyki. Podkreślono konieczność rozszerzenia niniejszych badań o metody ankietowe sprawdzające skuteczność interpretacji piktogramów przez różne grupy respondentów w celu wypracowania możliwie uniwersalnych kanonów w projektowaniu sygnatur dla webowych i mobilnych aplikacji mapowych.

Słowa kluczowe: symbole punktowe, metody prezentacji kartograficznej, mapa turystyczna, aplikacja mapowa, piesza turystyka górska

Wstęp

Piesza turystyka górską stanowi jedną z najpopularniejszych form aktywności rekreacyjnej, która łączy walory zarówno przyrodnicze, krajobrazowe, jak i zdrowotne, a zainteresowanie nią stale rośnie (Miazek, 2020; Zarzycki, Gruszka, 2021). Mając na uwadze, że mapa jest jednym z podstawowych elementów wykorzystywanych przez turystów podczas wędrówek górskich (Saliszczew, 2002), można założyć, że wzrost zainteresowania tą formą aktywności przekłada się na rosnącą liczbę użytkowników map turystycznych. Dodatkowo mapa jako „pośrednik” pomiędzy twórcą a odbiorcą (Kolář, 1969; Lloyd, 2005) pomaga turystę zlokalizować swoje położenie oraz umożliwia znalezienie drogi do zamierzonego celu (Farr i in., 2012; Fairbairn i in., 2021). W trakcie planowania górskiej wyprawy produkty kartograficzne używane są m.in. do zapoznania się ze specyfiką obszaru, do zaplanowania danej trasy, a w czasie wędrówki – do nawigacji w terenie. Sprawilo to, że poza tradycyjną mapą analogową znaczenie zyskały mapy w formie cyfrowej, takie jak serwisy mapowe (Kowalczyk, Pokojski, 2018; Onyshchenko i in., 2021) dostępne zarówno w formie webowej, jak i mobilnej, które są obecnie najpopularniejszym źródłem informacji geograficznej dla przeciętnego użytkownika sieci (Skopeliti, Stamou, 2019). Interaktywne mapy umożliwiają efektywne planowanie trasy, uwzględniają m.in. jej długość oraz szacowany czas przejścia, a także dostarczają dodatkowych informacji o atrakcjach turystycznych w formie opisowej lub graficznej (Kowalczyk, Pokojski, 2018). Wspierają one orientację przestrzenną i nawigację w terenie, co według Kraaka i Ormelinga (1998) stanowi fundamentalną funkcję mapy, a także pozwalają na rejestrowanie przebytej trasy (Kowalczyk, Pokojski, 2018). W stosunku do map drukowanych mapy w serwisach internetowych i aplikacjach mobilnych charakteryzują się znacząco większym zasobem treści i szczegółowością (Okonek, 2010). Ponadto ich nieodłącznym elementem jest pozycjonowanie z wykorzystaniem technik GNSS (ang. Global Navigation Satellite System), czego nie może zaoferować tradycyjna mapa drukowana.

Wśród jakościowych metod mapowania powszechnie stosowanych w kartografii internetowej i mobilnej wyróżnia się metodę sygnaturową, wykorzystującą sygnatury (nazywane także symbolami), które według Kocha (1998) są graficzną prezentacją obiektów przestrzennych i ich stanu na mapie lub na innej formie kartograficznej prezentacji. Sygnatury mogą przedstawiać położenie oraz atrybuty obiektów punktowych, liniowych i powierzchniowych, a ich zróżnicowanie wyrażane jest poprzez zmienne graficzne (wizualne), które zostały zdefiniowane przez Bertina (1967). Poza położeniem (X, Y) do podstawowych zmiennych wizualnych należą: barwa, kształt i orientacja umożliwiające prezentację danych jakościowych oraz wielkość, jasność barwy, ziarnistość służące do przedstawienia danych o charakterze ilościowym. Najbardziej istotnymi z punktu widzenia użytkownika mapy turystycznej sygnaturami stosowanymi ze względu na geometrię są symbole punktowe (najczęściej w formie piktogramów). W aplikacjach mapowych (zarówno mobilnych, jak i webowych) mogą one dodatkowo przyjmować formę interaktywną, a samo planowanie trasy często opiera się na schemacie planowania „z punktu do punktu”, co czyni te obiekty elementami

pierwszoplanowymi na takich opracowaniach kartograficznych. Ze względu na formę sygnatury dzieli się na: obrazkowe, symboliczne, geometryczne i literowe (Paślowski, 2006). Sygnatury obrazkowe jak najdokładniej prezentują wygląd danego obiektu. Sygnatury symboliczne nawiązują do skojarzeń i cech związanych z danym obiektem. Symbole geometryczne i literowe mogą nie być rozpoznawalne na podstawie samego wyglądu, a ich poprawne odczytanie jest możliwe tylko przy użyciu legendy mapy. Najlepiej rozpoznawalne są piktogramy, które bezpośrednio reprezentują konkretny obiekt lub odwołują się do skojarzeń odnoszących się do cech zjawisk (MacEachren, 1995; Cibilić, Posloncec-Petrić, 2025). W ten sposób na mapach turystycznych powinno stosować się sygnatury obrazkowe lub symboliczne, które są preferowane dla użytkowników okazjonalnych (Korpi i in., 2013), do jakich można zaliczyć użytkowników map turystycznych (Kostelnicki i in., 2008), którzy często cechują się nieznaną kanonów projektowania kartograficznego (Kowalczyk, Pokojski, 2018).

Celem artykułu jest jakościowa analiza porównawcza symboli punktowych stosowanych w aplikacjach internetowych i mobilnych: OpenStreetMap (OSM) jako podstawowej mapy internetowej wykorzystywanej w wielu cyfrowych opracowaniach kartograficznych oraz MapaTurystyczna.pl, Mapy.com (do I kwartału 2025 roku znane jako Mapy.cz) i Locus Map. Dobór tych aplikacji mapowych znajduje potwierdzenie w ich dużej popularności, np. wśród użytkowników mobilnych systemów operacyjnych, takich jak Android i iOS, o czym świadczy liczba pobrań w Google Play i Apple App Store. Przykładowo na smartfonach z systemem Android odnotowano ponad 10 mln pobrań aplikacji Mapy.com (Mapy.cz), ponad 5 mln pobrań Locus Map oraz ponad 1 mln pobrań aplikacji MapaTurystyczna.pl (stan na: 6.06.2025). W turystyce pieszej w polskich górach kluczową rolę odgrywają OpenStreetMap oraz MapaTurystyczna.pl. Polskie parki narodowe korzystają z tych narzędzi, publikując mapy szlaków turystycznych w oparciu o MapaTurystyczna.pl oraz podkład mapowy z OpenStreetMap. Dodatkowo na wielu popularnych polskich portalach turystycznych, np. PortalTatrzański.pl, Skalnik.pl czy e-Horyzont.pl, są to najczęściej rekomendowane produkty kartograficzne do stosowania w kontekście pieszej turystyki górskiej. Badanie obejmuje wyłącznie symbole punktowe reprezentujące obiekty związane z pieszą turystyką górską, ze szczególnym uwzględnieniem tych, które reprezentują obiekty powszechnie spotykane na oznakowanych szlakach turystycznych. Zestawienie sygnatur zostało przedstawione w formie tabelarycznej (ryc. 1), a ich porównania dokonano w szczególności na podstawie jakościowych zmiennych wizualnych: koloru i kształtu. W tej pracy porównano wyłącznie symbole punktowe w formie analizy jakościowej, mającej na celu wyodrębnienie podstawowych podobieństw i różnic w ich projektowaniu graficznym.

Badania symboli punktowych w kartografii

Artykuł Cibilić i Posloncec-Petrić (2025) zwraca uwagę na konieczność projektowania symboli punktowych na mapach turystycznych w sposób jak najbardziej

zrozumiały dla użytkowników. Autorzy skoncentrowali się na badaniu percepcji map turystycznych chorwackich parków narodowych przez różne grupy respondentów. Wykazano, że piktogramy stosowane na analizowanych produktach kartograficznych są trudne w interpretacji dla użytkowników niezależnie od grupy demograficznej, co wskazuje na nieprawidłowe wykorzystanie zasad projektowania kartograficznego, które w efekcie wpływa na obniżenie poziomu percepcji mapy. Jednymi z najbardziej problematycznych piktogramów okazały się te reprezentujące obiekty: schroniska turystyczne (sygnatura w kształcie domu w kolorze pomarańczowym) oraz kasy biletowe (sygnatura obrazkowa z narysowanym banknotem i dwoma kółkami reprezentującymi monety)

– obiekty, które są powszechnie spotykane na oznakowanych górskich szlakach turystycznych. Autorzy podkreślili konieczność prowadzenia dalszych badań nad zrozumiałością i skutecznością przekazywania informacji przestrzennych na mapach turystycznych, stwierdzając, że ich odbiorcami są użytkownicy okazjonalni, co sprawia, że czytelność symboli punktowych może mieć kluczowe znaczenie dla poprawnego zrozumienia przez nich treści mapy.

Nivala i Sarjakoski (2005) skupili się na implementacji biblioteki symboli punktowych dla map na urządzenia mobilne. Autorzy przedstawili ich projekt, a następnie przeprowadzili badanie pilotażowe sprawdzające skuteczność interpretacji proponowanych sygnatur. Sygnatury miały jednakowy kolor (niebieski), a ich kształt w większości nawiązywał bezpośrednio do zjawiska lub do jego skojarzeń (sygnatury obrazkowe i symboliczne). W większości przypadków symbole punktowe były poprawnie interpretowane przez użytkowników, w tym sygnatura przedstawiająca obiekt często występujący w okolicach górskich szlaków turystycznych oznaczająca miejsce na piknik (reprezentowana przez symbol ławki i choinki). Zwrócono jednak uwagę, że na poprawne zrozumienie symboli punktowych na mapach może mieć wpływ różnicowanie kulturowego i narodowościowego, co zauważano także w artykule Korpi i Ahonen-Rainio (2015). W obu badaniach dostrzeżono, że interpretacja niektórych symboli punktowych różniła się w tym przypadku pomiędzy Finami a osobami innych narodowości. Wniosek ten podkreślił potrzebę prowadzenia dalszych badań, aby piktogramy były możliwie uniwersalne dla jak najszerszej grupy odbiorców. Jest to szczególnie ważne dla aplikacji mapowych, które często prezentują obszar całego świata lub danego kontynentu, a jednocześnie posiadają jednolite sygnatury dla każdego obiektu.

Piątek i Gołębiowska (2022) przeprowadzili badanie mające na celu ocenę intuicyjności symboli punktowych stosowanych w popularnych aplikacjach nawigacyjnych. Podstawowym celem analizy było zdefiniowanie czy do efektywnej nawigacji użytkownikowi niezbędna jest legenda mapy. Respondenci mieli za zadanie odpowiedzieć na pytanie o znaczenie oraz preferencje wybranych symboli punktowych. Wykazano, że piktogramy stosowane w wybranych aplikacjach różnią się pod względem intuicyjności znaczenia. Zauważono, że ujednolicenie symbolizacji obiektów pomiędzy aplikacjami mogłoby zwiększyć intuicyjność ich odbioru, a tym samym ograniczyć konieczność stosowania legendy mapy. Podkreślono również, że korzystne jest projektowanie symboli na mapach w oparciu o popularne konteksty niekartograficzne, np. logo instytucji

publicznych (trąbka w logo poczty czy laska Asklepiosa często wykorzystywana w logo apteki).

Zejdlik i Wozenilek (2024) podjęli próbę zdefiniowania różnic w metodach prezentacji kartograficznych w internetowych aplikacjach mapowych. Przykłady różnego mapowania wybranych obiektów powierzchniowych, liniowych i punktowych zestawiono w formie tabelarycznej. Zauważono, że każda aplikacja charakteryzuje się unikalną paletą kolorów. Przykładowo niemalże każdy analizowany produkt stosował inny kolor do oznaczenia sygnatury punktowej szczytu górskiego. Autorzy zaproponowali wprowadzenie bardziej spójnych zasad projektowania kartograficznego w aplikacjach mapowych, co mogłoby zwiększyć efektywność interpretacji ich treści.

Współcześnie poza prezentacją rzeczywistych obszarów mapy przedstawiają także środowisko światów wirtualnych, np. w grach wideo. Według Horbińskiego i Zagaty (2021) gracze mogą być zaliczani do okazjonalnych użytkowników map, podobnie jak turyści (Kostelnicki i in., 2008). W kartografii w grach wideo, podobnie jak na mapach turystycznych, preferuje się stosowanie sygnatur obrazkowych i symbolicznych, a szczególnie istotną zmienną wizualną w ich projektowaniu jest kształt (Woźniak i in., 2024). Badania Horbińskiego i Zagaty (2021) oraz Woźniaka i in. (2024) zwracają też uwagę na ubogie lub błędne stosowanie zmiennej wizualnej koloru. W obu pracach wykazano, że kolor może w znaczący sposób przekazać informację użytkownikowi odnośnie do funkcji prezentowanego obiektu lub zjawiska, np. kolor zielony mógłby prezentować obiekty związane z przyrodą.

Materiały i metody

W niniejszej pracy zdecydowano się na jakościową analizę porównawczą symboli punktowych reprezentujących 16 różnych obiektów. Zostały one wyodrębnione z 4 aplikacji mapowych: OpenStreetMap, MapaTurystyczna.pl, Mapy.com (Mapy.cz), Locus Map. W badaniu wyróżniono tylko te symbole punktowe, które reprezentują obiekty uznane za powszechnie spotykane w okolicach szlaków turystycznych w polskich górach. Aby dany rodzaj obiektu został poddany analizie, musiał mieć reprezentację w postaci sygnatury punktowej na każdym z wymienionych wyżej produktów kartograficznych.

Poniżej przedstawiono krótki opis internetowych analizowanych aplikacji mapowych:

- OpenStreetMap (zwane dalej OSM) – otwarta i darmowa baza danych geograficznych tworzona przez społeczność użytkowników z całego świata. Dane OSM są wykorzystywane w licznych aplikacjach i serwisach mapowych, umożliwiając ich swobodną modyfikację i dostosowanie do różnych potrzeb. Dzięki modelowi otwartej współpracy mapy są stale aktualizowane i rozwijane.
- MapaTurystyczna.pl (zwana dalej MT) – polski serwis mapowy stworzony z myślą o turystach pieszych, przede wszystkim tych odwiedzających górskie szlaki turystyczne. Umożliwia planowanie tras, uwzględniając czas przejścia,

przewyższenia i trudność szlaków. Dodatkowo oferuje funkcję nawigacji oraz możliwość śledzenia trasy w terenie.

- Mapy.com (Mapy.cz, zwane dalej MCZ) – czeska platforma mapowa opracowana przez firmę Seznam.cz oferująca szczegółowe mapy turystyczne dostępne w trybach online i offline. Jest szczególnie popularna wśród pieszych turystów, rowerzystów i narciarzy dzięki dokładnym oznaczeniom szlaków i tras. Umożliwia wyznaczanie tras z uwzględnieniem różnego rodzaju aktywności oraz dostęp do zdjęć panoramicznych i modeli 3D. Oferuje także funkcję nawigacji. Serwis obejmuje mapy całego świata, ale szczególnie dobrze opracowane są obszary Czech, Słowacji i Polski.
- Locus Map (zwana dalej LM) – czeska zaawansowana aplikacja mapowa przeznaczona dla turystów czy rowerzystów. Umożliwia korzystanie z map offline, planowanie tras i nawigację w terenie. Aplikacja oferuje także możliwość zapisu śladu oraz integrację z innymi narzędziami i czujnikami.

Analiza jakościowa symboli punktowych

Podstawą niniejszej analizy jest zdefiniowanie podobieństw i różnic w projektowaniu symboli, ze szczególnym uwzględnieniem zmiennych wizualnych kształtu i koloru. Sygnatury zestawiono w formie tabelarycznej (ryc. 1) i umieszczono na jednolitym tle. Badanie skupia się przede wszystkim na graficznej ocenie zaprojektowanych symboli, przez co zrezygnowano z piktogramów z kontekstem mapowym.

Szczyt

W każdej z analizowanej aplikacji mapowej do prezentacji kształtu tego obiektu wykorzystano trójkąt. W przypadku OSM, MT i MCZ jest to trójkąt z wypełnieniem (w LM dodatkowo z szarym obrysem). Zdefiniowano różnice w zmiennej wizualnej koloru: pomarańczowy w OSM, szary w MT, brązowy w MCZ, biały (z szarym obrysem) w LM. Potwierdza to wniosek Zejdlika i Wozenileka (2024) o braku jednolitości kolorystycznej w prezentacji tego obiektu. Początkowo można założyć, że obiekt ten jest prezentowany jako sygnatura geometryczna. Jednak ze względu na jednoznaczne skojarzenie trójkąta równobocznego ze szczytem górskim, sygnatury te można zaklasyfikować jako symboliczne.

Przełęcz

Zmienna wizualna koloru jest jednakowa z kolorem szczytu na każdej mapie. W zakresie geometrii obiektów zauważono podobieństwo między MT a LM, jednak symbole te różnią się zmienną wizualną orientacji. Z definicji przełęcz jest obniżeniem grani pomiędzy dwoma sąsiednimi szczytami. Geometria każdego symbolu w jakimś stopniu próbuje wskazać na tę cechę obiektu, przy czym najbardziej złożoną formę prezentuje symbol w MCZ. Zauważono tu także niespój-

	OSM (OpenStreetMap)	MT (MapaTurystyczna.pl)	MCZ (Mapy.cz)	LM (Locus Map)
szczyt				
przełęcz				
wejście do jaskini				
wodospad				
źródło				
miejsce wody pitnej				
kaplica (chrześcijańska)				
kapliczka przydrożna				
schronisko turystyczne				
wiata /schronienie				
miejsce na piknik/miejsce na odpoczynek				
punkt widokowy				
stacja kolei linowej				
kasa biletowa				
tablica informacyjna				
drogowskaz				

Ryc. 1. Zestawienie symboli punktowych wyodrębnionych z aplikacji mapowych.
Fig. 1. List of point symbols extracted from mapping applications

ność w kwestii terminologii nauk o Ziemi i środowisku. Symbol ten zawiera element przypominający przepływającą rzekę między dwoma szczytami, co bardziej odpowiadałoby prezentacji doliny niż przełęczy.

Wejście do jaskini

W MT i MCZ zastosowano ten sam kolor co w przypadku szczytu i przełęczy. W OSM jest to kolor czarny, a w LM brązowy. Podobieństwo w zakresie kształtu można zauważyć między OSM a MT oraz między MCZ a LM. Można przypuszczać, że twórcom każdej sygnatury zależało na jak najwierniejszej reprezentacji wejścia do jaskini, jednak zastosowano do tego dwa różne podejścia graficznego projektowania.

Wodospad

Pomimo różnych odcieni koloru niebieskiego (#106bc2 w MCZ, #4e80b3 w OSM, #498bc2 w LM, #2f989e w MT) każdy piktogram swoim kolorem wskazuje na obiekt związany z wodą. Zachowano także podobieństwo w kształcie każdej sygnatury, przedstawiające „spadającą” wodę, co jednoznacznie wskazuje na wodospad.

Źródło

Podobnie jak w przypadku wodospadu kolor źródła na każdej mapie wskazuje na obiekt związany z wodą. W MT, MCZ i LM zastosowano te same kolory co przy wodospadzie, natomiast w OSM wykorzystano kolor błękitny. Ze względu na trudność w dosłownym przedstawieniu źródła twórcy symboli w MT i LM sięgnęli po skojarzenie z kroplą wody. W MCZ zastosowano półokrąg z linią łamaną w środku przypominającą fale, natomiast w OSM – okrąg bez wypełnienia z obrysem. W ostatnim przypadku sygnaturę można zaklasyfikować do sygnatur geometrycznych (w odróżnieniu do pozostałych), ponieważ poza kolorem sugerującym obiekt związany z wodą w żaden sposób nie kojarzy się kształtem z reprezentowanym obiektem.

Miejsce wody pitnej

W OSM i MT mają identyczny kształt. Podobieństwo do OSM i MT wykazuje także sygnatura z MCZ. Na tych trzech mapach zastosowano element graficzny przypominający kran. W OSM i MT sygnaturę dodatkowo buduje element w kształcie szklanki napełnionej wodą, a w MCZ kropla wody kapiąca z kranu. Symbol w LM wyróżnia się odmiennym podejściem graficznym w zakresie geometrii – przedstawia napełnioną szklankę z symbolem kropli wody w środku. W przeciwieństwie do wodospadu i źródła, w przypadku tego obiektu nie zachowano jednolitej zmiennej wizualnej koloru na wszystkich mapach. W MT, MCZ i LM użyto

tej samej kolorystyki co w wodospadzie i źródle, natomiast w OSM symbol jest w kolorze brązowym, nie wskazując swoją barwą na obiekt związany z wodą.

Kaplica (chrześcijańska)

Do prezentacji kaplicy chrześcijańskiej na wszystkich mapach zdecydowano się na skojarzenie z symbolem krzyża. W przypadku OSM jest to sam symbol krzyża, natomiast w MT, MCZ, LM symbol krzyża z kółkiem (w LM z kółkiem bez wypełnienia), co jest powszechną reprezentacją np. na mapach topograficznych. W zmiennej wizualnej koloru w MT, MCZ i LM zastosowano kolor brązowy, w OSM czarny.

Kapliczka przydrożna

W OSM, MT i LM wykorzystano jednakowy kształt nawiązujący do przeciętnego wyglądu kapliczki przydrożnej. W OSM i MT zgodny jest również kolor, natomiast w LM zmieniono go na brązowy. Można sugerować, że MT i LM zaczerpnęły symbol bezpośredniego z bazy OSM, a w LM zmieniono jedynie jego kolor. W MCZ nie wprowadzono rozróżnienia między kaplicą chrześcijańską a kapliczką przydrożną i zastosowano ten sam symbol do prezentacji obu form obiektów.

Schronisko turystyczne

W reprezentacji schroniska turystycznego występują znaczące różnice między poszczególnymi produktami kartograficznymi, w zakresie graficznego projektowania symboli punktowych, szczególnie zmiennej wizualnej koloru. Pomimo tego we wszystkich aplikacjach zastosowano skojarzenie z domem lub chatą, jednak największe odstępstwo zauważono w MCZ, gdzie wybrano odmienny kształt symbolu nawiązującego do tego obiektu. Podobieństwo jest dostrzegalne pomiędzy OSM a LM, gdzie symbol przypomina sylwetkę podróżującego turysty schowanego pod dachem. Takiego samego koloru użyto w OSM i MT (niebieski), natomiast w MCZ wybrano kolor brązowy oraz w LM pomarańczowy.

Wiata/schronienie

Podobieństwo w zmiennej wizualnej kształtu zauważono pomiędzy OSM a MT. Dodatkowo w OSM symbol jest wzbogacony o 9 kresek przypominających opad deszczu. Jednak oba te symbole mogą kojarzyć się ze schroniskiem turystycznym, które na niektórych mapach turystycznych przyjmuje podobną reprezentację graficzną (Cibilić, Posloncec-Petrić, 2025). W MCZ i LM użyto zupełnie innej geometrii symbolu, która może być myląca z miejscem na piknik/miejscem na odpoczynek poprzez zastosowanie elementu przypominającego ławkę lub ławostół. Kolory wiaty/schronienia różnią się w zależności od mapy: szary w OSM, brązowy w MT i LM, różowy w MCZ.

Miejsce na piknik/miejsce na odpoczynek

W OSM, MT i LM zaprojektowano symbol przypominający ławostół, co nawiązuje do charakterystyki miejsc odpoczynku spotykanych na górskich szlakach turystycznych. W OSM i MT zastosowano kolor zielony (w różnych odcieniach), natomiast symbol w LM odróżnia się kolorem brązowym. Piktogram w MCZ znacząco odbiega zarówno pod względem zmiennej wizualnej kształtu, jak i koloru. Wykorzystano tutaj sygnaturę złożoną z ławki i choinki (Nivala, Sarjakoski, 2005) w kolorze czerwonym.

Punkt widokowy

Pod względem geometrii wszystkie symbole wykazują pewne podobieństwo, szczególnie między MCZ a LM. Odróżnia się jedynie sygnatura z MT, która nie jest oparta na kształcie koła, jednak zastosowano tu te same założenia graficzne odnośnie do kształtu i ułożenia poszczególnych elementów, co na pozostałych mapach. Różnice pojawią się w kolorystyce piktogramów. W MT i MCZ sygnatury są w kolorze czerwonym, który jest powszechnie używany do tego typu obiektu, np. na mapach topograficznych czy analogowych mapach turystycznych. W OSM i LM wykorzystano natomiast kolor brązowy.

Stacja kolejki linowej

Do reprezentacji tego rodzaju obiektu na każdej mapie zastosowano kolor niebieski (choć w różnych odcieniach). Reprezentacja geometryczna symboli w MT, MCZ, LM swoim kształtem nawiązuje do wyglądu wagonu kolejki linowej, intuicyjnie wskazując na funkcję obiektu, natomiast w OSM wykorzystano symbol geometryczny w postaci kwadratu, przez co prawidłowe odczytanie symbolu nie jest możliwe bez użycia legendy mapy lub bez etykiety umieszczonej obok tego symbolu.

Kasa biletowa

W OSM, MT i MCZ kształt symbolu wyraźnie nawiązuje do biletu wstępu, np. do parku narodowego. Różnice występują jednak w liczbie elementów – w MT i MCZ przedstawiono dwa bilety, podczas gdy w OSM tylko jeden. Różna jest także orientacja sygnatur. Interesującym przypadkiem jest LM, gdzie nie ma bezpośredniego oznaczenia kas biletowych. Sygnatura w postaci wózka sklepowego (przez którą reprezentowany jest także sklep) pojawia się dopiero wtedy, kiedy wpisze konkretną kasę biletową w wyszukiwarce. Przy swobodnym przeglądaniu mapy nie ma możliwości znalezienia takiego obiektu, co może wprowadzać użytkownika w błąd. Nie ma zgodności odnośnie do kolorystyki symboli. W OSM wyróżnia się kolor fioletowy, w MT brązowy, w MCZ niebieski, a w LM pomarańczowy.

Tablica informacyjna

W każdej z analizowanych aplikacji mapowych symbole reprezentujące tablicę informacyjną swoim kształtem starają się nawiązać bezpośrednio do tego obiektu. Jednak symbolem wyróżniającym się względem innych jest ten z LM, który zawiera dodatkowo literę „i” sugerującą związek z informacją turystyczną. Ponadto zauważalne są różnice w zmiennej wizualnej koloru. W LM zastosowano tutaj kolor fioletowy, w OSM, MT i MCZ – kolor szary.

Drogowskaz

We wszystkich analizowanych produktach mapowych wykorzystano bardzo podobny kształt symbolu, przypominający klasyczny drogowy, który można spotkać na niemal każdym oznakowanym góskim szlaku turystycznym. Dodatkowo między OSM, MT i MCZ występuje zgodność w zastosowaniu szarego koloru, podczas gdy w LM zdecydowano się na kolor brązowy.

Dyskusja

Po zestawieniu symboli w formie tabelarycznej oraz dokonaniu analizy porównawczej w większości przypadków zauważalna jest wysoka różnorodność w aspekcie graficznej reprezentacji obiektów związanych z pieszą turystyką górską w aplikacjach mapowych, takich jak: OpenStreetMap, MapaTurystyczna.pl, Mapy.com (Mapy.cz) oraz Locus Map. Zidentyfikowano istotne różnice w graficznym projektowaniu symboli punktowych, szczególnie w zakresie zmiennych wizualnych, takich jak kształt i kolor. Brak jednolitych kanonów może doprowadzać do trudności w ich intuicyjnym odczytywaniu przez użytkowników, co zauważono również w badaniu Piątka i Gołębiowskiej (2022). Zasugerowali oni, że stosowanie podobnych wytycznych przy tworzeniu sygnatur mogłoby zniwelować potrzebę korzystania z legendy mapy, tym bardziej jeśli dodać do tego fakt, że ciągłe korzystanie z niej może być frustrujące. Warto też wspomnieć o swobodnym i często darmowym dostępie do wielu aplikacji mapowych, co umożliwia użytkownikom jednoczesne korzystanie z różnych źródeł – np. OpenStreetMap do zapoznania się z terenem, MapaTurystyczna.pl do planowania trasy, a Mapy.com (Mapy.cz) do nawigacji w terenie. Biorąc pod uwagę, że symbole punktowe plasują się wysoko w hierarchii wizualnej map internetowych, są one szczególnie istotne dla poprawnej percepcji mapy przez jej użytkownika, a ich różnorodność może wprowadzać dezorientację. Konieczność każdorazowej nauki znaczenia piktogramów reprezentujących ten sam obiekt może mylić użytkownika i sprawiać, że nie jest on w stanie intuicyjnie połączyć jakiegoś obiektu z danym kształtem i kolorem, ponieważ w każdej aplikacji zastosowane są inne standardy w projektowaniu graficznym.

Potwierdziła się też teza Zejdlika i Wozenileka (2024) mówiąca o tym, że wiele aplikacji mapowych ma różne palety kolorów w swojej symbolizacji. Całkowitą

zgodność kolorów (nie uwzględniając odcieni) zauważono w sygnaturach reprezentujących źródło oraz wodospad. Co ciekawe, nie zaobserwowano tego w innym obiekcie związanym z wodą – miejscu wody pitnej. Mimo że jego kształt jednoznacznie sugeruje powiązanie z wodą, w OpenStreetMap zastosowano nieintuicyjny kolor brązowy, podczas gdy w pozostałych produktach kartograficznych użyto koloru niebieskiego lub jego odcieni.

Niezgodności w doborze zmiennej graficznej koloru występowały w innych sygnaturach punktowych, w których we wszystkich analizowanych produktach mapowych zachowano jednakową lub bardzo zbliżoną geometrię. Podobnie jak w badaniu Zejdlika i Wozenileka (2024) pomimo jednakowej reprezentacji geometrycznej szczytu w postaci trójkąta równobocznego w każdej aplikacji mapowej zastosowano dla niego inny kolor. Taka sama sytuacja miała miejsce w przypadku wejścia do jaskini, w którym swoją geometrią symbole słusznie nawiązały bezpośrednio do obiektu, jednak kolorystyka różniła się w zależności od mapy.

We wszystkich analizowanych aplikacjach zauważono dużą różnorodność kolorystyczną stosowaną w symbolach, często niezgodną z kanonami obecnymi na analogowych mapach turystycznych czy mapach topograficznych. Kolor niebieski poza obiektami związanymi z hydrologią powinien odnosić się do obiektów np. o charakterze informacyjnym, takich jak kasy biletowe. Tylko Mapy.com (Mapy.cz) zastosowały taki kolor do prezentacji tego obiektu. Jednak ta sama aplikacja mapowa użyła koloru czerwonego (powszechnie kojarzonego np. z ostrzeżeniami i zagrożeniami) do oznaczenia miejsca na piknik/miejsca na odpoczynek oraz wiaty/schronienia. Jest to rozwiązanie nieintuicyjne podkreślające mankamenty w stosowaniu designu kartograficznego.

Jedyną reprezentacją obiektu, dla której wszystkie cztery internetowe aplikacje mapowe były zgodne jednocześnie w kwestii zmiennych wizualnych kształtu i koloru, był wodospad. Słusznie na wszystkich mapach zastosowano odcienie niebieskiego, jednoznacznie kojarzące się z wodą. W zakresie kształtu zgodnie przyjęto spójną reprezentację obiektu w postaci „spadającej” wody, nawiązując skojarzeniem do funkcji wodospadu.

Wyróżnić można jeszcze drogowskaz turystyczny, który pomimo wykorzystania innego koloru w Locus Map zachowuje bardzo podobną reprezentację geometryczną, bezpośrednio wskazując na obiekt, który symbolizuje. Podobnie piktogramy oznaczające punkt widokowy, mimo użycia dwóch różnych kolorów (czerwonego i brązowego), pod względem kształtu można uznać za zbliżone do siebie.

Pomimo braku pełnej graficznej jednolitości między wszystkimi symbolami punktowymi zauważono podobieństwa między wybranymi mapami. Kapliczka przydrożna ma identyczny kształt w OpenStreetMap, MapaTurystyczna.pl i Locus Map. W OSM i MT tożsamy jest jeszcze szary kolor. Najprawdopodobniej producenci MapaTurystyczna.pl korzystający z bazy OpenStreetMap zdecydowali się nie zmieniać stylu tej sygnatury ani nie projektować własnej. Kaplica chrześcijańska w MapaTurystyczna.pl, Mapy.com (Mapy.cz) i Locus Map przyjęła charakterystyczną dla analogowych map turystycznych i topograficznych reprezentację kółka i wychodzącego z niego krzyża. Tablica informacyjna w OpenStreetMap,

MapaTurystyczna.pl i Mapy.com (Mapy.cz) została przedstawiona jako szara tablica. Pomimo drobnych różnic w geometrii poszczególnych elementów, producenci tych map zdecydowali się na spójny sposób jej reprezentacji. W obiekcie źródło widoczna jest identyczna reprezentacja w MapaTurystyczna.pl i Locus Map. Mimo różnych odcieni koloru niebieskiego oba symbole jasno wskazują na reprezentację w postaci kropli wody. Miejsce na piknik/miejsce na odpoczynek w OpenStreetMap, MapaTurystyczna.pl oraz Locus Map charakteryzuje się podobną geometrią (oraz dodatkowo tym samym kolorem w OSM i MT), gdzie kształt przypomina ławostół, który często spotykany jest w miejscach przeznaczonych na odpoczynek podczas wędrówki na górskim szlaku turystycznym. Symbol tego obiektu na Mapy.com (Mapy.cz) różni się od pozostałych oboma jakościowymi zmiennymi wizualnymi, ale reprezentacja geometryczna w postaci ławki i choinki była też spotykana w literaturze (Nivala, Sarjakoski, 2005). Szczególne podobieństwo w doborze zmiennych wizualnych koloru i kształtu widać w stacji kolei linowej w MapaTurystyczna.pl, Mapy.com (Mapy.cz) i Locus Map. Pomimo drobnych różnic w kształcie elementów wszystkie trzy symbole punktowe przedstawiają wagon kolei linowej.

Interesująca jest niespójność w reprezentacji schroniska turystycznego. Jest to obiekt kluczowy z punktu widzenia mapy turystycznej terenów górskich, zwłaszcza podczas planowania wędrówki. Schronisko turystyczne często pełni rolę punktu początkowego, końcowego lub pośredniego na trasie. W trakcie planowania drogi „z punktu do punktu” nierzadko jednym z tych „punktów” jest właśnie schronisko turystyczne, dlatego kluczowa jest jego zrozumiała symbolizacja na mapach, niezależnie od aplikacji czy nośnika. Pomimo zastosowania kształtu przypominającego dom/chatę i drobnych podobieństw między wybranymi produktami kartograficznymi (np. postać człowieka w chatce w OSM i LM albo koloru niebieskiego w OSM i MT) symbole znacząco się różnią. W badaniu Cibilić i Posloncec-Petrić (2025) sygnatura punktowa prezentująca schronisko turystyczne osiągnęła słabą skuteczność w interpretacji poprawnego znaczenia symbolu. Co więcej, grafika przypominała bardziej wiatę/schronienie na MapaTurystyczna.pl, co może prowadzić do błędnego rozróżnienia tych dwóch obiektów.

W badaniu Woźniaka i in. (2024) podkreślano kluczową rolę odpowiedniego doboru kształtu symbolu punktowego tak, aby jak najbardziej kojarzył się z reprezentowanym obiektem. Większość analizowanych symboli przyjmowała postać sygnatur symbolicznych i obrazkowych. Zdefiniowano powtarzające się skojarzenia i nawiązania do funkcji lub bezpośrednio do geometrii danych obiektów, np. motyw krzyża przy kaplicy chrześcijańskiej, charakterystyczny kształt papierowego biletu przy kasie biletowej, domku/chatki dla schroniska turystycznego i wiaty/schronienia czy otwór jaskiniowy dla wejścia do jaskini. Wystąpiły jednak przypadki symboli geometrycznych. Tak jak w przypadku symbolu szczytu dla wszystkich map granica między określeniem go symbolem geometrycznym a symbolicznym może być niezauważalna ze względu na jednolite skojarzenia z trójkątem równobocznym jako szczytem górskim na mapach turystycznych, tak w przypadku stacji kolei linowej i źródła na OpenStreetMap użytkownik

zmuszony będzie do skorzystania z legendy mapy, etykiety (o ile jest ona obecna przy danym symbolu) lub wnioskowania z kontekstu mapowego.

Wnioski i przyszłe prace

W badaniu zestawiono 16 grup symboli punktowych, reprezentujących obiekty powszechnie spotykane podczas wędrówek góorskimi szlakami turystycznymi. Jakościowa analiza porównawcza wykazała znaczącą różnorodność w graficznym projektowaniu symboli punktowych w czterech znanych aplikacjach mapowych. Pomimo pewnych podobieństw w geometrii oraz kolorystyce większość symboli punktowych różni się między sobą, co może powodować trudności w interpretacji, szczególnie dla użytkowników okazjonalnych, jakimi są turyści (Kostelnicki i in., 2008), oraz dla użytkowników map internetowych i mobilnych, którzy regularnie korzystają z więcej niż jednej aplikacji mapowej.

W przyszłości planowane jest rozszerzenie badania o metodę ankietową i analizę statystyczną, które umożliwią ocenę skuteczności interpretacji symboli przez różne grupy respondentów. Powyższa analiza jakościowa wykazała potrzebę dalszych prac w tym zakresie. Szczególnie należy skupić się na próbie zdefiniowania najefektywniejszych kanonów w graficznym projektowaniu sygnatur punktowych pod względem kolorystyki piktogramów. Być może przyczyni się to do zwiększenia ich uniwersalności, a idąc dalej – poprawienia percepcji map przez ich odbiorców. W kolejnych pracach warto też uwzględnić kontekst mapowy, gdyż może on mieć istotny wpływ na umiejętność czytania mapy.

Ponieważ aspekt kulturowy i narodowościowy oddziałuje na skuteczność interpretacji symboli punktowych (Nivala, Sarjakoski, 2005; Korpi, Ahonen-Rainio, 2015), interesującym kierunkiem przyszłych badań może być analiza, czy sygnatury są lepiej rozumiane przez respondentów z określonych regionów. W niniejszym badaniu trzy z czterech produktów kartograficznych zostały stworzone przez przedsiębiorstwa z Europy Środkowej (MapaTurystyczna.pl – Polska, Mapy.com (Mapy.cz) i Locus Map – Czechy). Może to rodzić przypuszczenia, że skuteczność interpretacji symboli punktowych przez respondentów z tego regionu będzie wyższa. Jednak optymalnie symbole punktowe na mapach powinny być dostosowane do docelowych grup odbiorców. W przypadku MapaTurystyczna.pl są to głównie Polacy lub zagraniczni turyści odwiedzający polskie góry, ponieważ aplikacja obejmuje treść tylko dla powierzchni kraju, natomiast sygnatury punktowe w OpenStreetMap, Mapy.com (Mapy.cz) oraz Locus Map powinny być możliwie uniwersalne, gdyż treść mapy (pomimo jeszcze niedostatecznej popularności np. Mapy.com poza Europą) ma zasięg całego świata.

Literatura

Bertin J., 1967, *Semiologie graphique. Les diagrammes, les reseaux, les cartes*, La Haye, Paris.

- Cibilić I., Poslončec-Petrić V., 2025, Evaluating Cartographic Communication in Croatian National Parks: User Perceptions of Pictograms, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14(2): 41, <https://doi.org/10.3390/ijgi14020041>
- Fairbairn D., Gartner G., Peterson M.P., 2021, Epistemological thoughts on the success of maps and the role of cartography, *International Journal of Cartography*, 7(3): 317–331, <https://doi.org/10.1080/23729333.2021.1972909>
- Farr A.C., Kleinschmidt T., Yarlagadda P., Mengersen K., 2012, Wayfinding: A simple concept, a complex process, *Transport Reviews*, 32(6): 715–743, <https://doi.org/10.1080/01441647.2012.712555>
- Horbiński T., Zagata K., 2021, Map Symbols in Video Games: the Example of “Valheim”, *KN J. Cartogr. Geogr. Inf.*, 71: 269–283, <https://doi.org/10.1007/s42489-021-00085-0>
- Koch W.G., 1998, Zum Wesen der begriffe Zeichen, *Signatur und symbol in der Kartographie*, *KN J. Cartogr. Geogr. Inf.*, 48: 89–96, <https://doi.org/10.1007/BF03548767>
- Koláčny A., 1969, Cartographic Information – a Fundamental Concept and Term in Modern Cartography, *The Cartographic Journal*, 6(1): 47–49, <https://doi.org/10.1179/caj.1969.6.1.47>
- Korpi J., Ahonen-Rainio P., 2015, Effect of cultural differences and referent characteristics on the design of pictographic map symbols, [w:] *Cartography-Maps Connecting the World: 27th International Cartographic Conference 2015–ICC2015*, Springer International Publishing, s. 3–16.
- Korpi J., Haybatollahi M., Ahonen-Rainio P., 2013, Identification of partially occluded map symbols, *Cartogr. Perspect.*, 76: 19–32, <https://doi.org/10.14714/CP76.59>
- Kostelnick J.C., Dobson J.E., Egbert S.L., Dunbar M.D., 2008, Cartographic Symbols for Humanitarian Demining, *Cartogr. J.*, 45: 18–31, <https://doi.org/10.1179/000870408X276585>
- Kowalczyk A., Pokojski W., 2018, Nowe technologie w turystyce: przejście od map analogowych do map cyfrowych, *Folia Turistica*, 48: 13–40, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.7688>
- Kraak M.J., Ormeling F., 1998, *Kartografia: wizualizacja danych przestrzennych*, tłum. W. Żyszkowska, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Lloyd R.E., 2005, Attention on Maps, *Cartographic Perspectives*, 52: 28–57, <https://doi.org/10.14714/CP52.377>
- MacEachren A.M., 1995, *How Maps Work: Representation, Visualization and Design*, Guilford Press, New York, NY, USA.
- Miażek P., 2020, Przyczyny zróżnicowania ruchu turystycznego w polskich parkach narodowych, *Turyzm*, 30(1): 71–83, <https://doi.org/10.18778/0867-5856.30.1.08>
- Nivala A.M., Sarjakoski L.T., 2007, User aspects of adaptive visualisation for mobile maps, *Cartography and Geographic Information Science*, 34(4): 275–284, <https://doi.org/10.1559/152304007782382954>
- Okonek M., 2010, Lokalizacyjne serwisy mapowe w Polsce – zakres treści, geowizualizacje, funkcje interaktywne, *Polski Przegląd Kartograficzny*, 42(3): 211–226.
- Onyshchenko M., Ostroukh V., Lepetiuk V., Pidlisetska I., 2021, Creation of Tourist Maps Series as a Type of Regional System Tourism Mapping, *The Cartographic Journal*, 59(1): 69–82, <https://doi.org/10.1080/00087041.2021.1937827>
- Pasławski J., 2006, *Kartograficzne metody prezentacji*, [w:] J. Pasławski (red.), *Wprowadzenie do kartografii i topografii*, Wydawnictwo Nowa Era, Wrocław, s. 199–202.
- Piątek R., Gołębiowska I., 2022, Do navigation maps need a legend? Empirical assessment of the intuitiveness of point symbols on mobile maps, *Polish Cartographical Review*, 54(1): 23–34, <https://doi.org/10.2478/pcr-2022-0003>

- Saliszczew K.A., 2002, *Kartografia ogólna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 17.
- Skopeliti A., Stamou L., 2019, Online Map Services: Contemporary Cartography or a New Cartographic Culture?, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(5): 215, <https://doi.org/10.3390/ijgi8050215>
- Woźniak J., Rymarkiewicz W., Łyszczasz D., Horbiński T., 2024, Effectiveness Study on the Correct Interpretation of Point Symbols Using the Online Survey Method on the Example of the Witcher 3: Wild Hunt, *KN J. Cartogr. Geogr. Inf.*, 71: 29–52, <https://doi.org/10.1007/s4248902300158-2>
- Zarzycki P., Gruszka I., 2021, Zainteresowanie pieszą turystyką górską wśród studentów Wyższej Szkoły Handlowej we Wrocławiu, [w:] P. Zarzycki (red.), *Aktywność fizyczna w górach w ujęciu interdyscyplinarnym*, Studia i Monografie Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, s. 71–82.
- Zejdlik J., Vozenilek V., 2025, Exploring Cartographic Differences in Web Map Applications: Evaluating Design, Scale, and Usability, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 14(1): 9, <https://doi.org/10.3390/ijgi14010009>

Źródła internetowe

<https://portaltatrzański.pl/porady/informacje-praktyczne/aplikacje-mobilne-przydatne-w-gorach,2466> (Portal Tatrzański)

<https://www.skalnik.pl/blog/praktyczne-i-przydatne-aplikacje-w-gory/> (Skalnik)

<https://www.e-horyzont.pl/blog/nawigacja-w-gorach> (e-Horyzont)

Qualitative analysis of point symbols representing objects related to mountain hiking tourism based on selected online mapping applications

Abstract: Cartographic products play a key role in mountain hiking tourism. As this form of activity becomes more popular, the number of users of tourist maps is growing, while web map applications are becoming increasingly important, enabling, among other things, route planning and navigation. The basic cartographic presentation method of these maps is the cartographic symbols method. Considering the crucial role of point symbols (pictograms), a qualitative analysis of 16 group of point symbols representing objects related to mountain hiking tourism (especially those often found in the vicinity of marked tourist trails) was conducted. The study covered 4 popular web map applications: OpenStreetMap, MapaTurystyczna.pl, Mapy.com (known as mapy.cz until Q1 2025) and Locus Map. Point symbols were presented in tabular form and compared, focusing primarily on visual (graphic) variables: colour and shape. Significant diversity in the graphic design of point symbols was demonstrated, especially in terms of colour. The need to extend this research with survey methods to check the effectiveness of pictograms interpretation by different groups of respondents was emphasized in order to develop possibly universal canons in the design of point symbols for web map applications.

Keywords: point symbols, cartographic presentation methods, tourist map, web map applications, mountain hiking tourism

Sekcja Geo-Grafiki

Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego

Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Aleksandra Osses, Daria Powalowska, Magdalena Lehmann

Porównanie użyteczności grafiki 3D i 2D w zakresie edukacji o rzeźbie glacialnej na przykładzie Łądolodu Patagońskiego Południowego

Zarys treści: Niniejsza praca przedstawia porównanie dwóch metod prezentacji lodowca górskiego. Autorzy przygotowali model 3D oraz wizualizację 2D na podobieństwo Łądolodu Patagońskiego Południowego. Zaprezentowane wizualizacje zostały ocenione przez uczniów szkół ponadpodstawowych za pomocą ankiety internetowej składającej się z testu na rozpoznanie form glacialnych oraz pytania o subiektywne odczucia względem wybranego schematu. Analiza wyników ankiety wykazała, że obie wizualizacje gwarantują efektywność przekazywania wiedzy w zależności od rodzaju prezentowanego materiału, wiedzy uczniów w wybranym zakresie czy umiejętności skupienia uwagi. Różnice w odbiorze grafik widoczne były szczególnie w kontekście wybranych form glacialnych, na przykład moreny czołowej. Wykazano, że obie analizowane metody wizualizacji mogą mieć sprecyzowaną funkcję i skupiać się na wybranych aspektach obrazowania rzeźby terenu, niosąc ze sobą unikalne dla edukacji wartości.

Słowa kluczowe: Łądolód Patagoński Południowy, porównanie metod graficznych, wizualizacja graficzna, rzeźba glacialna, edukacja geograficzna

Wprowadzenie

Krajobraz glacialny jest jednym z najbardziej charakterystycznych (Gregory, Gaudie, 2011) i dynamicznych (Zekollari i in., 2022) systemów na Ziemi. Podlega on równowadze dynamicznej, zależnej od rocznego bilansu masy lodowców (Sotchez, Lorrain, 1991). Łądolody i lodowce uczestniczą w procesach transportu

osadów (Kirkbride, 2002), co wpływa na ewolucję krajobrazu (Stroeven, Swift, 2008). Środowisko glacialne jest jednocześnie jednym z najbardziej zagrożonych w obliczu zmian klimatycznych prowadzących do szybszego topnienia lądolodów i lodowców górskich (Carey, 2007), w związku z tym edukacja o rzeźbie glacialnej nabiera szczególnego znaczenia, rozszerzając swój zakres o zagadnienia ekologiczne. Jednym z największych systemów lodowcowych występujących na świecie współcześnie jest Lądolód Patagoński Południowy. Analiza tego obszaru z zastosowaniem skutecznych metod wizualizacji umożliwia lepsze zrozumienie zagadnienia samej rzeźby glacialnej oraz jej zmian w czasie. Jest to również obszar, na którym prowadzić można analizy zdalne – obserwację całej powierzchni lądolodu w technice 3D umożliwia wykorzystana w badaniu aplikacja internetowa Google Earth. Jest to obecnie jedna z najbardziej popularnych aplikacji internetowych tego typu na świecie, która pracuje poza środowiskiem WWW. Łączy w sobie możliwości Google Maps z zaawansowaną techniką wizualizacyjną obiektów trójwymiarowych, tworząc „obrazową mapę komputerową 3D” całego globu (Jędrzycka, 2006).

Jednym z wyzwań w nauczaniu geografii na poziomie szkół ponadpodstawowych jest efektywne przekazanie wiedzy o złożonych procesach geomorfologicznych, cechujących się wielką powierzchnią występowania oraz długim czasem trwania. Od lat podstawę w edukacji stanowią tradycyjne materiały dydaktyczne, takie jak statyczne ilustracje dwuwymiarowe (2D), będące najczęściej ukazaniem wybranego procesu w sposób schematyczny i uproszczony. Jednak kolejne pokolenia uczniów dorastające w okresie intensywnego rozwoju technologii cyfrowych, otoczone coraz większą ilością bodźców w postaci filmów wideo, gier i zdjęć, do nauczania podchodzą w nowy sposób, skupiony na przekazie informacji przez obraz (Patterson, 2007). W odpowiedzi na tę potrzebę bardziej realistyczne i interaktywne przedstawienie wielu procesów, w tym glacialnych, umożliwia rozwój technologii wizualizacyjnych wprowadzający grafikę trójwymiarową (3D), która uznawana jest za jeden z najbardziej efektywnych sposobów prezentacji zjawisk geograficznych (Dmochowska-Dudek, 2016). Umożliwia ona wykonywanie realistycznych modeli terenu i obiektów geograficznych w trzech osiach XYZ. Urozmaicenie o trzeci wymiar wspiera lepsze przedstawienie złożoności i struktury obiektów (Kolecka, 2008). Najczęściej wybieranymi programami do tworzenia grafiki trójwymiarowej są: oprogramowanie open-source Blender, a także oprogramowanie freeware SketchUp. Wizualizacje trójwymiarowe mogą być implementowane do gier wideo (Chądryńska, Gotlib, 2015) oraz do systemów wirtualnej lub rozszerzonej rzeczywistości (Halik, Wielebski, 2023).

Grafika komputerowa zyskała na popularności wraz z upowszechnieniem się komputerów wyposażonych w odpowiednie parametry techniczne (Foley i in., 1997). Wyróżnia się dwa główne typy grafiki: wektorową oraz wykorzystaną przez autorów grafikę rastrową. Opiera się ona na siatce najmniejszych elementów obrazu – pikseli, z których każdy posiada jednolity kolor. Jakość uzyskanego obrazu zależy od całkowitej liczby pikseli oraz ilości informacji przechowywanych w każdym z nich. W odróżnieniu od grafiki wektorowej, która cechuje się pełną

skalowalnością, grafika rastrowa wykorzystuje kompresję w celu optymalizacji zajmowanej przestrzeni pamięciowej.

Zamierzeniem niniejszej pracy jest zestawienie skuteczności wizualizacji 2D i 3D dla edukacji w zakresie krajobrazu glacialnego za pomocą porównania ich do form widocznych na obszarze Łądolodu Patagońskiego Południowego. Narzędziem badawczym mającym umożliwić to porównanie jest ankieta internetowa, czyli kwestionariusz do wypełnienia online, będący jednocześnie najczęściej wykorzystywaną metodą badawczą (Smith, 1997; Couper, 2000). Kwestionariusz w takiej formie oferuje różną długość, format, a także różne rodzaje pytań, w tym wielokrotnego wyboru, skali porządkowej czy krótkiej odpowiedzi. Dane z ankiety online można zbierać i analizować za pomocą narzędzi do ankiet, co pozwala na szybkie i sprawne zrozumienie trendów w odpowiedziach odbiorców. Istotną zaletą tej metody badawczej jest możliwość pozyskiwania danych z całego świata (Woźniak i in., 2024). Jest to narzędzie łatwo dostępne dla większości badanych w grupie docelowej – ankietę internetową wypełnić można na dowolnym urządzeniu mobilnym, w tym na telefonie komórkowym, a dostęp do kwestionariusza uzyskać można za pomocą linku lub kodu QR. Analizie poddane zostaną zarówno aspekty percepcji wizualnej, jak i efektywność przyswajania wiedzy uczniów szkół ponadpodstawowych o różnym poziomie wiedzy geograficznej. Pozwoli to obiektywnie ocenić, która z metod stanowi lepsze wsparcie w nauczaniu o geomorfologii glacialnej.

Obszar badań

Obszarem badań jest Łądolód Patagoński Południowy (lokalnie określany El Campo de Hielo Patagónico Sur, ang. Southern Patagonia Icefield). Rozciąga się on między 48°20' a 51°30' S szerokości geograficznej, wzdłuż południka 73°30' W (Aniya i in., 1996). Zlokalizowany jest w południowej części Andów Patagońskich w Ameryce Południowej. Łądolód ten jest największym fragmentem łądolodu znajdującym się poza obszarami polarnymi Antarktydy (Carrasco i in., 2002). Jego długość w osi południkowej wynosi około 350 km. Szerokość łądolodu sięga zazwyczaj 30–40 km, natomiast najwęższy fragment ma zaledwie 8 km (Aniya i in., 1997). Całkowita powierzchnia łądolodu składającego się z Północnego Łądolodu Patagońskiego (Northern Patagonia Icefield, NPI) oraz Łądolodu Patagońskiego Południowego (Southern Patagonia Icefield, SPI) wynosi około 16 500 km². Północna część obejmuje 3950 km² (Rivera i in., 2007), natomiast południowa 12 550 km² (Skvarca i in., 2010), wspólnie tworząc największą masę lodu na półkuli południowej (Warren, Sugden, 1993). Wysokość Łądolodu Patagońskiego Południowego waha się od 800 do 2000 m o szczytach sięgających 2500 m (Carrasco i in., 2002), ze wschodnią partią wyższą od zachodniej i północną wyższą od południowej (Aniyai in., 1997).

Łądolód ten jest pozostałością z okresu plejstocenских zlodowaceń, które wpłynęły na rzeźbę terenu objętego ich zasięgiem (Caviedes, Paskoff, 2017). Spływa z niego 48 głównych lodowców (Casassa i in., 2002), w tym Upsala, Viedma

i Perito Moreno po stronie argentyńskiej oraz Pío XI (Brüggen), Balmaceda i Grey po stronie chilijskiej (Casassa i in., 2014). Wśród wszystkich lodowców jest aż 28 lodowców głównych, które cielą się, co skutkuje powstawaniem gór lodowych (Sakakibara, Sugiyama, 2014). Wiele lodowców kończy się, uchodząc do oceanu lub słodkowodnych jezior (Casassa i in., 2002), natomiast wody roztopowe zasilają liczne jeziora glacialne (Warren, Sugden, 1993), w tym jezioro Viedma i Grey. Na badanym obszarze w największej ilości występują duże lodowce wyprowadzające (Outlet Glacier) (Warren, Sugden, 1993). Głównymi czynnikami wpływającymi na klimat tego obszaru są: regionalny wzrost temperatury powietrza, spadek bilansu opadów (Casassa i in., 2002) oraz wiatry zachodnie wiejące znad Oceanu Spokojnego (Sakakibara, Sugiyama, 2014).

Znaczna część lądolodu znajduje się pod ochroną parków narodowych. Fragmenty pokrywy lodowej obejmują Park Narodowy Bernardo O'Higgins, Park Narodowy Torres del Paine w Chile, a także Park Narodowy Los Glaciares w Argentynie i Park Narodowy Perito Moreno (Mazzoni i in., 2009).

Według obserwacji przeprowadzonych metodami satelitarnymi i zdjęciami lotniczymi już od 1944/45 roku następowało zmniejszanie się powierzchni lądolodu; w latach 1944–1986 lądolód utracił 4% powierzchni. Większa część lodowców wylotowych cofa się (Aniya i in., 1996), z wyjątkiem niewielkich epizodów rozrastania się w latach 90. (Rivera i in., 2007). Silny ubytek masy lodu szczególnie zaznacza się w przypadku lodowca O'Higgins – wynosił aż 14,6 km w latach 1896–1995 (Casassa i in., 1996). Jest to jeden z głównych lodowców Lądolodu Patagońskiego Południowego (SPI). Zmiany klimatyczne, w tym rosnąca temperatura, wskazują na dalsze postępowanie ablacji (Rosenblüth i in., 1997).

Grupa docelowa badania

Wykorzystanie opracowań graficznych w edukacji na temat procesów geomorfologicznych odbywa się w dużej mierze w szkołach ponadpodstawowych, w których geografia jako przedmiot występuje przez większość okresu kształcenia i porusza w sposób złożony zagadnienia związane z ukształtowaniem terenu. Z powodu dużej styczności z graficznymi materiałami dydaktycznymi uczniowie na tym etapie edukacji zostali wybrani przez autorów na głównych uczestników badania. Według rozporządzenia Ministra Edukacji Narodowej z dnia 30 stycznia 2018 roku w sprawie podstawy programowej kształcenia ogólnego dla liceum ogólnokształcącego, technikum oraz branżowej szkoły II stopnia, geografia w szkołach porusza tematykę genezy zlodowacenia, rzeźbotwórczej działalności lądolodów i lodowców górskich oraz współczesnych zagrożeń dla obszarów zlodowaconych. Przedmiot ten w zakresie podstawowym realizowany jest przez trzy lata, a zagadnienia w podstawie programowej obejmują: genezę lodowców i ich rozmieszczenie, główne procesy rzeźbotwórcze i ich skutki oraz wpływ zanikania pokrywy lodowej na gospodarkę i kulturę regionów okołobiegunowych.

Geografia w trybie rozszerzonym realizowana jest w liceum ogólnokształcącym przez cały okres kształcenia ucznia, obejmujący 4 lata nauki, natomiast w technikum przedmiot ten trwa pięć lat. W ramach podstawy programowej uczniom

przedstawione są zagadnienia z zakresu analiz wydarzeń geologicznych na podstawie profilu, wpływu lądolodu na środowisko, różnic między rzeźbą młodoglaacialną i staroglaacialną oraz zasięgu pokrywy lodowej w kontekście zmian klimatu.

Metodyka

W celu zweryfikowania i porównania sposobów prezentacji krajobrazu glacialnego za pomocą grafiki 3D i 2D podjęte zostały trzy kroki: przygotowanie opracowania dwuwymiarowego, przygotowanie modelu trójwymiarowego oraz sporządzenie ankiety internetowej, dzięki której uzyskano odpowiedzi respondentów, będące głównym elementem porównania wyżej wymienionych metod wizualizacji. Należy wspomnieć, że autorzy nie posiadają pełnej wiedzy na temat okoliczności wypełniania kwestionariuszy przez uczestników, natomiast godziny przesłania udzielonych odpowiedzi pokrywają się z godzinami zajęć lekcyjnych.

Wizualizacja 3D

Model wykonany został w darmowym oprogramowaniu Blender 4.0 z pomocą wtyczki A.N.T. Landscape, dzięki której możliwe jest umieszczenie w programie realistycznego obiektu przedstawiającego wygenerowany losowo krajobraz, a następnie dostosowanie go do potrzeb użytkownika. W tym wypadku obiekt został edytowany tak, aby przedstawiał krajobraz górski na wzór Lądolodu Patagońskiego Południowego, zawierający elementy charakterystyczne dla rzeźby glacialnej, przykładowo wgłębienia stanowiące pola firnowe. W celu uzyskania realistycznego efektu rozdzielczość obiektu została znacznie zwiększona w panelu edycji wtyczki A.N.T. Landscape. Wygenerowany krajobraz dostosowano następnie w trybie edycji, przycinając obiekt do prostokąta zawierającego najważniejsze elementy ukształtowania terenu. Dla poprawy estetyki obiektu wykonano operację *Extrude* na przyciętych krawędziach, dzięki czemu obiekt z wygiętej płaszczyzny stał się bryłą.

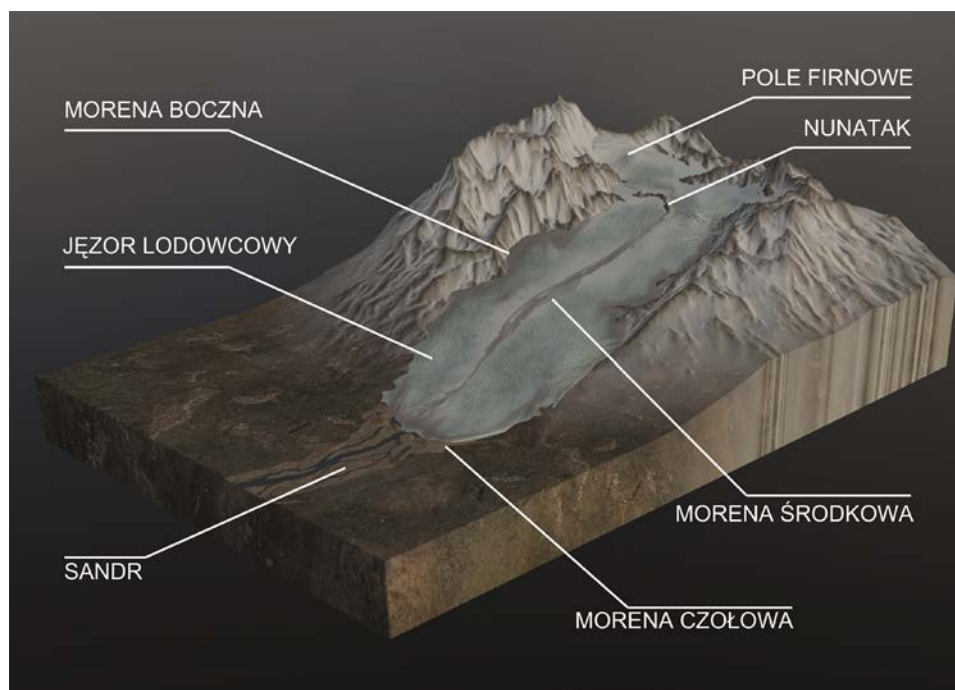
Jęzor lodowca oraz obszar występowania sandru i wód roztopowych wykonano za pomocą wstawiania kolejnych obiektów (brył i płaszczyzn), a potem edycji tych obiektów w panelu *Edit Mode* w taki sposób, by dopasować ich kształt do głównej części modelu.

Aby uzyskać efekt zaśnieżonych gór, obiektom nadano dwie tekstury zewnętrzne – obrazowe, korzystające z plików zawierających obraz 2D będący źródłem dla tekstury. W pierwszej kolejności zmieniono parametr *Base Color* oraz *Roughness*, wstawiając w oknie *Image Texture* tekstury przypominające skalną nawierzchnię (Rock Wall 02) pobrane wcześniej z witryny www.polyhaven.com/textures. Z tej samej witryny pobrano teksturę przypominającą śnieg (Snow 02), natomiast w celu jej selektywnego nałożenia na obiekt podjęto szereg bardziej skomplikowanych działań.

Wtyczka A.N.T. Landscape oferuje liczne operacje związane z wygenerowanym krajobrazem. Jedną z nich jest narzędzie *Landscape Eroder*, odpowiedzialne za

automatyczne tworzenie map wagi wierzchołków na podstawie kąta nachylenia stoków utworzonych przez wtyczkę z uwzględnieniem różnych możliwości potencjalnego spływu lub też depozycji materiału. Do opracowania wykorzystana została mapa wagi wierzchołków wyznaczonych na podstawie spływu. Kolejny etap podjęto w panelu *Texture Paint*, gdzie wykonana została akcja *Vertex Color from Weight* – jest to algorytm, dzięki któremu utworzona została grupa wierzchołków o automatycznie nadanej wartości na bazie aktywnej mapy wagi. Po wykonaniu tych działań, w panelu *Shading* ponownie utworzono grupę tekstur, zmieniając parametr *Base Color* oraz *Roughness*, tym razem pobierając dane z okna *Image Texture* zawierającego odpowiednie pliki tekstury *Snow 02*. Selektywne nałożenie tej tekstury na podstawie grupy wcześniej oznaczonych wierzchołków umożliwił *Attribute*, czyli okno pobierające wartość z wybranego atrybutu znajdującego się w programie – w tym wypadku atrybut stanowi grupa wierzchołków. Dodatkowym elementem pozwalającym na manipulację jest konwerter *Color Ramp*, pozwalający na dostosowanie natężenia tekstury za pomocą suwaka. Wynik wartości obu tekstur – skalnego podłoża oraz śniegu – został połączony w jedno za pomocą ostatecznego okna *Mix Shader*.

Podczas procesu teksturowania lodowca połączone zostały dwa rodzaje tekstur dostępnych w oprogramowaniu Blender: tekstury zewnętrzne (obrazowe), użyte również w przypadku zaśnieżonych gór, oraz tekstury proceduralne, wygenerowane bezpośrednio w programie za pomocą węzłów, w tym przypadku



Ryc. 1. Model 3D lodowca górskiego

Fig. 1. 3D model of a mountain glacier

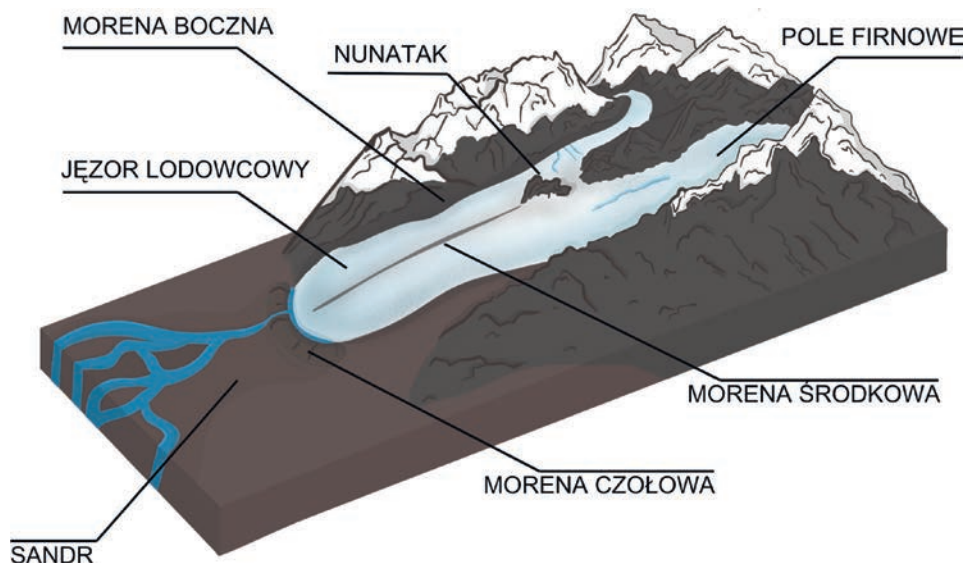
Noise Texture oraz *Voronoi Texture*. W pierwszej kolejności nałożona została tekstura *Noise*, zmodyfikowana konwerterem *Mix* – jest to okno umożliwiające nadanie obiektowi dwóch dowolnych kolorów rozmieszczonych na bazie tekstury podpiętej pod węzeł *Factor*. W celu uzyskania efektu realistycznego lodu użyto dwóch kolorów o kodzie szesnastkowym #453E3A oraz #D4FFFA. Wynik zmieszania barw na podstawie faktoru *Noise Texture* następnie podpięto pod węzeł *Base Color*. Tekstura śniegu znajdującego się przy granicy lodu z górami została zaimplementowana w sposób podobny do śniegu znajdującego się na stokach – utworzono mapę wagi wierzchołków obiektu w sposób manualny, za pomocą narzędzi dostępnych w trybie *Weight Paint*, a następnie powtórzono czynności podłączania tekstury obrazowej na bazie konkretnego atrybutu i dopasowano jego natężenie suwakiem *Color Ramp*. Do nadania tekstury piasku w obszarze sandru ponownie użyta została tekstura obrazowa *Gravelly Sand* pochodząca ze źródła *PolyHaven*, natomiast teksturę wód roztopowych o nazwie *Water realistic* zaimportowano przy użyciu wtyczki *BlenderKit*. Na koniec ustawione zostało źródło oświetlenia *Sun* oraz kamera w celu wyrenderowania ostatecznego efektu w silniku *Eevee*. Podpisy oraz odnośniki naniesione zostały na wyrenderowany obraz PNG w platformie Canva – wykorzystano font *Canva Sans*.

Wizualizacja 2D

Do wykonania modelu 2D Łądogrodu Patagońskiego użyty został płatny program Procreate, służący do tworzenia grafiki rastrowej za pomocą tabletu graficznego. Głównym założeniem projektu było stworzenie ilustracji wzorowanej na grafikach powszechnie używanych w szkołach ponadpodstawowych do nauki o zlodowaceniach. Kluczowe było odpowiednie uproszczenie rysunku, tak aby uzyskać mniej realistyczny efekt w stosunku do modelu 3D na rzecz przekazania wiedzy w sposób czytelny i schematyczny odbiorcom, którzy w większości nie mieli styczności z lodowcem. Referencją podczas wykonywania ilustracji były zdjęcia satelitarne, modele 2D występujące w podręcznikach oraz obrazy 3D terenu uzyskane za pomocą Google Earth. Paleta kolorów została opracowana w oparciu o zebrane materiały z wyżej wymienionych źródeł, aby jak najlepiej w formie rysunkowej odzwierciedlić współczesne zlodowacenia górskie.

Na ilustracji dominuje barwa ciepła obejmująca różne odcienie brązu o kodach szesnastkowych #6B5E5A oraz #5B5755 symbolizujące występowanie osadów gliniastych, żwirów i piasków w przedpolu lodowca. Biele i błękity łączą elementy ściśle powiązane z hydrosferą, tj. wody roztopowe, lód lodowcowy oraz śnieg. Model został przedstawiony w perspektywie izometrycznej, co pozwala na jednoczesne ukazanie form rzeźby terenu oraz ich wzajemnych relacji.

Całość opracowana została w kilku kluczowych etapach; pierwszy z nich obejmował wykonanie szkicu prezentującego ogólny wygląd modelu. W następnych krokach był on dopracowywany z użyciem funkcji *Layers*, dzięki której każdy element mógł być niezależnie i precyzyjnie edytowany. Po wstępnym wypełnieniu kolorami bazowymi wszystkich elementów pierwsze powstały góry otaczające jezioro lodowcowe. Zostały one ukazane w kolorze białym (#FFFFFF) w celu



Ryc. 2. Wizualizacja 2D lodowca górskiego
 Fig. 2. 2D visualisation of a mountain glacier

zaznaczenia lokalizacji w wysokich partiach gór oraz wyraźnego oddzielenia od niższego bardziej skalistego i gliniastego podłoża. Zastosowane zostały także wyraźne kontury oraz obrysy. Ich występowanie pozwala skutecznie odseparować od siebie elementy, a także ukazać teksturę poszczególnych form, tj. skalistość szczytów czy zaokrąglenie wału moreny czołowej. W połączeniu z późniejszym zastosowaniem subtelnego cieniowania daje to wrażenie trójwymiarowości. Cienie na jeziorze lodowcowym i skałach wystających na zboczach gór mają pozwolić odbiorcy na lepszą interpretację elementów modelu i poprawniejsze wyobrażenie realnych warunków występujących w pobliżu lodowca.

W dalszej części tworzenia ilustracji powstał obszar otaczający lodowiec wraz z przedpołem. Na tym etapie kluczowe było wyraźne odróżnienie sandru i wału moreny czołowej od podłoża. Zostało to osiągnięte przede wszystkim dzięki odmiennej kolorystyce (#675a56 i #625753). Kolor został odpowiednio przyciemniony, a dodatkowe cienie pomogły zaprezentować jego wklęsłość przy korycie, w którym płynie rzeka proglacialna.

Na końcu dopracowano lodowiec poprzez dodanie poprzecznych i podłużnych szczelin lodowcowych, błękitów oraz tekstury pędzlem *Hard Rain*; obrazuje to dodatkową chropowatość lodu lodowcowego, prezentując jego charakterystyczne „zabrudzenie” materiałem morenowym niesionym w wyniku ruchów lodowca. Dzięki temu element przedstawia bardziej złożoną budowę i wyróżnia się niejednoznacznym kolorem, co umożliwia bardziej dogłębną interpretację przez odbiorcę. Projekt wyeksportowano do formatu PNG, a potem w platformie Canva dodane zostały podpisy oraz tło – wykorzystano font *Canva Sans*.

Ankiety

Na potrzeby badania sporządzone zostały dwie ankiety internetowe, do czego wykorzystano darmową platformę Google Forms. Oba kwestionariusze rozpoczynają dwa pytania rozpoznawcze: „W której klasie liceum jesteś?” oraz „Czy jesteś w klasie z rozszerzoną geografią?” Następnie, w zależności od rodzaju ankiety, umieszczony został schemat 3D bądź 2D. Po zapoznaniu się ze schematem, respondent proszony był o odpowiedź na siedem pytań w formie testu jednokrotnego wyboru. Do każdego pytania dołączony został obraz, będący zrzutem ekranu wykonanym w platformie Google Earth, przedstawiający krajobraz Patagonii z zaznaczoną konkretną formą glacjalną, którą respondent musi wybrać spośród siedmiu dostępnych pod obrazem odpowiedzi (ryc. 3). Obrazy dołączone do pytań nie różnią się w zależności od ankiety – we wszystkich siedmiu pytaniach umieszczono dokładnie te same zrzuty ekranu przedstawiające wybrane formy terenu dla wizualizacji 3D oraz 2D. Kwestionariusz kończy pytanie o charakterze subiektywnym, będące pięciostopniową skalą oceny podobieństwa wykonanej grafiki 2D bądź 3D do obrazów zawartych w pytaniach: „Jak oceniasz podobieństwo form na schemacie do form widocznych na zdjęciach z Google Earth?” Celem rozróżnienia ankiet na dwie odrębne części – 2D lub 3D – jest uzyskanie odpowiedzi respondenta związanej wyłącznie z jednym rodzajem wizualizacji.



Ryc. 3. Zrzut ekranu z Google Earth zamieszczony w pytaniu 1 w ankiecie, ukazujący morenę środkową

Fig. 3. Google Earth screenshot showing the central moraine used in question 1 of the online survey

Analiza

Model 3D

Zaprezentowany schemat przygotowany w technice 3D przedstawia w sposób realistyczny fragment krajobrazu lodowca górskiego i wybrane elementy rzeźby glacialnej, takie jak: morena środkowa, morena boczna, morena czołowa, pole firnowe, jezior lodowcowy, nunatak oraz sandr (będący obszarem akumulacji osadów naniesionych na przedpole lodowca przez rzekę proglacialną). Model posiada trzeci wymiar, co umożliwia jego manipulację w dedykowanym oprogramowaniu. Jest to istotna zaleta w edukacji dotyczącej rzeźby terenu, umożliwiającą wizualizację topografii lodowca. Obecność realistycznych tekstur oraz oświetlenia przybliży tę formę wizualizacji do obrazów widzianych w rzeczywistości, dzięki czemu odbiorca może z większą łatwością odnaleźć korelację pomiędzy tym, co widzi na schemacie, a formą, którą chce nazwać. Zastosowana kolorystyka jest intuicyjna i jednoznacznie wskazuje na obszary glacialne. Rzeźba terenu została uproszczona do jego form dominujących na obszarze, natomiast aspekt geologiczny został całkowicie pominięty. Render modelu wykonano w perspektywie zbieżnej z lotu ptaka – jest to często stosowany zabieg w wizualizacjach skupiających się na formach ukształtowania powierzchni Ziemi, ponieważ umożliwia spojrzenie na wybrany fragment terenu w szerszej perspektywie, z uwzględnieniem większych oraz mniejszych elementów składowych obrazowanego krajobrazu. Istotną niedogodność stanowią wymagania sprzętowe oraz czasochłonność wykonania modelu w technice 3D. Aby oprogramowanie działało w sposób płynny, niezbędne są konkretne komponenty, np. karta graficzna, która wspiera wydajność procesora przy bardziej skomplikowanych procesach, takich jak nakładanie realistycznych tekstur czy manipulacja złożoną siatką obiektu. Sprowadza się to do wniosku, że wykonanie wizualizacji 3D o wyższym stopniu szczegółowości nie jest możliwe dla osób z ograniczonym dostępem do dedykowanego sprzętu komputerowego.

Wizualizacja 2D

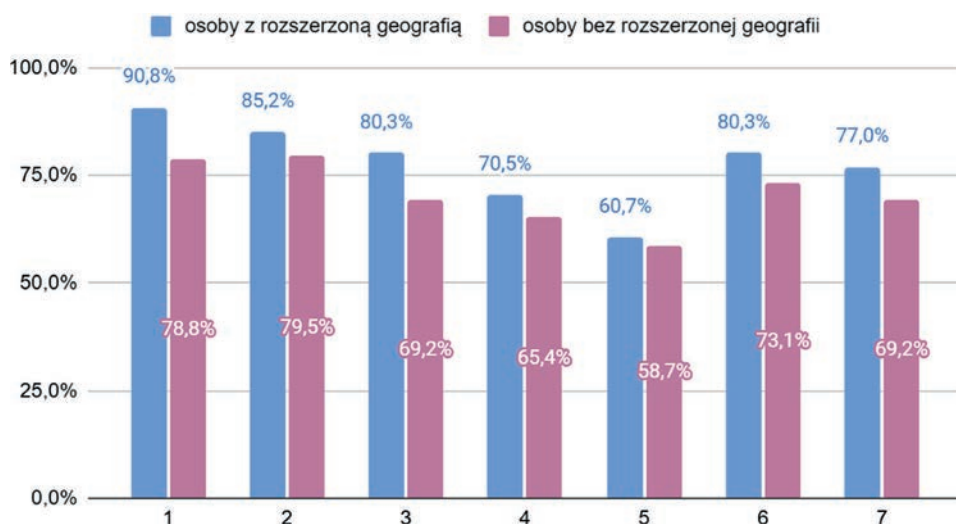
Schemat sporządzony w technice 2D za pomocą oprogramowania Procreate jest to odwzorowanie wybranego rzutu fragmentu terenu w perspektywie zbieżnej z lotu ptaka – w sposób analogiczny do modelu 3D. Wizualizację cechuje nawiązujące do opracowania 3D oświetlenie, kolorystyka oraz podobieństwo sposobu zobrazowania siedmiu wybranych elementów rzeźby lodowcowej. Główną różnicę w zestawieniu z prezentowaną wizualizacją 3D zauważyć można w kontekście realizmu – tekstury oraz cienie ujęte zostały w sposób uproszczony, rozróżnienie poszczególnych form możliwe jest na podstawie koloru oraz wyraźnych konturów. Jeżeli chodzi o różnice w samym sposobie zobrazowania danych form, występują one w wypadku pól firnowych, które na schemacie 2D zajmują większą powierzchnię i są bardziej rozdzielone niż na modelu trójwymiarowym. Inaczej ujęta została również morena czołowa – na wizualizacji dwuwymiarowej jest ona bardziej wyszczególniona z obszaru sandru za pomocą linii konturów, pod-

czas gdy ta sama forma na modelu trójwymiarowym uwytłumiona jest w sposób nieznaczący, będąc jedynie wyższym elementem sandru przed czołem lodowca. Oprócz tego na opracowaniu 2D zdecydowanie większy i bardziej widoczny niż w modelu 3D jest nunatak. Kolorystyka wizualizacji została subiektywnie dobrana w oparciu o barwy widoczne w materiałach źródłowych, symbolizujących wybrane komponenty środowiska lodowca górskiego, takie jak śnieg, piasek, glina czy wody roztopowe. Ten rodzaj wizualizacji ograniczony jest przez mniej czynników niż grafika 3D – oprogramowania do tworzenia grafiki dwuwymiarowej nie wymagają wspomaganie procesora w celu utrzymania płynności. Uzyskanie efektu realizmu jest jednak znacząco utrudnione ze względu na specyfikę zastosowanej techniki; autor opracowania powinien posiadać odpowiednie umiejętności, a także dysponować dużą ilością czasu. Stopień szczegółowości prezentowanego terenu jest niski, co wynika z symbolicznego przedstawienia form i uproszczonego odwzorowania tekstur.

Ankiety

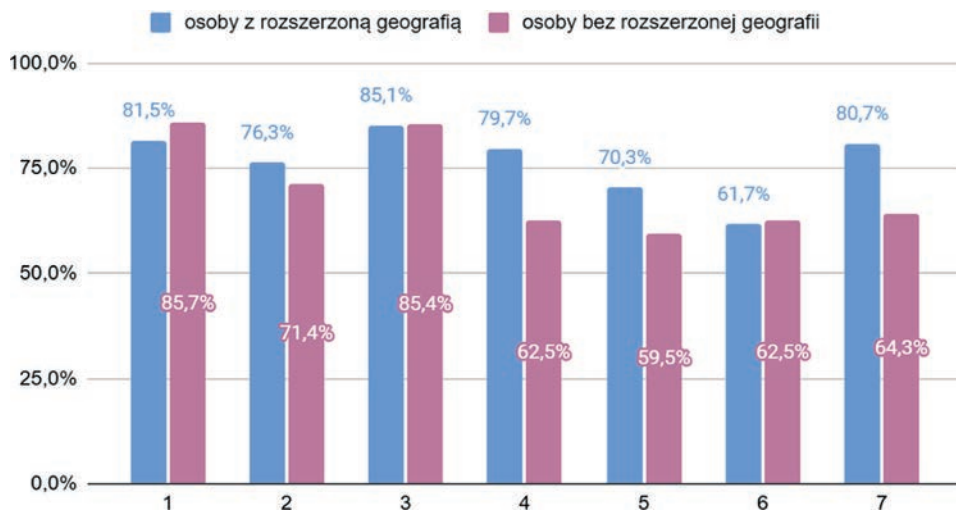
Kwestionariusz w formie dwóch odrębnych ankiet wypełniony został przez 324 uczniów szkół ponadpodstawowych. Respondentami byli uczniowie liceum, technikum oraz szkół branżowych, będący w klasach zarówno z rozszerzoną, jak i podstawową geografią. 55,6% odpowiedzi zostało udzielonych przez uczniów o rozszerzonym zakresie nauczania, natomiast pozostałe 44,4% stanowi grupa bez rozszerzenia. Wszystkie wyniki procentowe uzyskane z kwestionariuszy zaokrąglono do jednej liczby po przecinku w celu zwiększenia czytelności.

Respondenci wykonali krótki test, składający się z siedmiu pytań, którego celem było zweryfikowanie przyswajalności materiałów dydaktycznych



Ryc. 4. Wykres przedstawiający poprawne odpowiedzi na pytania w ankiecie z grafiką 3D

Fig. 4. Diagram showing the correct answers in the survey containing the 3D graphic



Ryc. 5. Wykres przedstawiający poprawne odpowiedzi na pytania w ankiecie z grafiką 2D
Fig. 5. Diagram showing the correct answers in the survey containing the 2D graphic

sporządzonych przez autorów. W ramach testu, po zapoznaniu się z dołączonym do każdego pytania zrzutem ekranu z Google Earth prezentującego krajobraz Łądogłodu Patagońskiego Południowego z wyszczególnioną jedną formą glacialną, ankietowani musieli zaznaczyć kolejno: morenę środkową, jezior lodowcowy, nunatak, morenę boczną, pole firnowe, sandr oraz morenę czołową. Po analizie wyników ankiet rozpoznano niewielki związek poprawności udzielonych odpowiedzi z klasą, do której uczęszczają respondenci; zarówno uczniowie młodszych, jak i starszych klas, uzyskali podobne wyniki. Różnice zauważalne są jednak w zakresie poziomemu nauczania geografii – rozszerzonym oraz podstawowym.

Pytanie 1 – morena środkowa

- **wizualizacja 3D:** rozszerzenie: 90,8%, brak rozszerzenia: 78,8%;
- **wizualizacja 2D:** rozszerzenie: 81,5%, brak rozszerzenia: 85,7%.

Ankietowani z rozszerzoną geografią lepiej rozpoznali morenę czołową na modelu 3D, podczas gdy uczniowie bez rozszerzenia uzyskali lepszy wynik przy wizualizacji 2D. Należy zaznaczyć, że wynik 90,8% jest najlepszy spośród wszystkich udzielonych odpowiedzi na obie ankiety.

Pytanie 2 – jezior lodowcowy

- **wizualizacja 3D:** rozszerzenie: 85,2%, brak rozszerzenia: 79,5%;
- **wizualizacja 2D:** rozszerzenie: 76,3%, brak rozszerzenia: 71,4%.

Odpowiedzi na pytanie drugie w obu grupach wskazują na przewagę modelu 3D w kontekście wizualizacji formy jeziora lodowcowego.

Pytanie 3 – nunatak

- wizualizacja 3D: rozszerzenie: 80,3%, brak rozszerzenia: 69,2%;
- wizualizacja 2D: rozszerzenie: 85,1%, brak rozszerzenia: 85,4%.

Przewaga poprawnych odpowiedzi w przypadku pytania trzeciego miała miejsce wśród ankietowanych, którzy zapoznali się z grafiką 2D, co sugeruje, że nunatak był na niej lepiej widoczny.

Pytanie 4 – morena boczna

- wizualizacja 3D: rozszerzenie: 70,5%, brak rozszerzenia: 65,4%;
- wizualizacja 2D: rozszerzenie 79,7%, brak rozszerzenia: 62,5%.

W grupie uczniów z geografią rozszerzoną lepszy wynik uzyskali uczniowie w ankiecie z grafiką 2D, natomiast w grupie podstawowej wyniki były zbliżone.

Pytanie 5 – pole firnowe

- wizualizacja 3D: rozszerzenie: 60,7%, brak rozszerzenia: 58,7%;
- wizualizacja 2D: rozszerzenie: 59,5%, brak rozszerzenia: 70,3%.

W wypadku tej formy najlepiej poradzili sobie uczniowie bez rozszerzenia, identyfikując pole firnowe dzięki schematowi 2D. Niemniej jest to najgorzej rozpoznawalna forma w obu rodzajach wizualizacji, a wynik 58,7% jest najniższy spośród wszystkich.

Pytanie 6 – sandr

- wizualizacja 3D: rozszerzenie: 80,3%, brak rozszerzenia: 73,1%;
- wizualizacja 2D: rozszerzenie: 61,7%, brak rozszerzenia: 62,5%.

Ankieta z modelem 3D przyniosła więcej poprawnych odpowiedzi w obu grupach, co wskazuje na większą rozpoznawalność sandru dzięki wizualizacji przestrzennej.

Pytanie 7 – morena czołowa

- wizualizacja 3D: rozszerzenie: 77%, brak rozszerzenia: 69,2%;
- wizualizacja 2D: rozszerzenie: 80,7%, brak rozszerzenia: 64,3%.

Dla uczniów z rozszerzoną geografią bardziej pomocna okazała się grafika 2D, natomiast grupa bez rozszerzenia uzyskała lepszy wynik z modelem 3D.

Średnia wszystkich poprawnych odpowiedzi udzielonych na pytania postawione w poszczególnych kwestionariuszach to kolejno: 74,2% w ankiecie z grafiką 3D (odchylenie standardowe: 10,6 punktu procentowego) oraz 73,4% (odchylenie standardowe: 10,3 punktu procentowego) w ankiecie z grafiką 2D, co w ogólnym rozrachunku świadczy o niewielkiej różnicy w odbiorze jednej i drugiej metody wizualizacji.

W celu stwierdzenia istotności statystycznej uzyskanych wyników wykonano test Z dla dwóch proporcji. Porównywane były ze sobą liczby poprawnych odpowiedzi na poszczególne pytania według dwóch grup respondentów – uczniów z geografią na poziomie rozszerzonym i podstawowym, z uwzględnieniem podziału na grafikę 2D oraz 3D. Użycie testu Z dla dwóch proporcji bez sprawdzenia rozkładu danych było możliwe dzięki zastosowaniu warunku aproksymacji normalnej rozkładu dwumianowego. Liczebność każdej z grup oraz iloczyny obserwacji i proporcji sukcesów spełniają kryteria aproksymacji:

$$n \cdot p \geq 5$$

$$n \cdot (1 - p) \geq 5$$

gdzie:

n – liczba obserwacji,

p – proporcja sukcesów.

Każda para wartości poddawana była takim samym etapom obliczeń w celu przeprowadzenia testu Z dla dwóch proporcji. Pierwszym z nich było wyliczenie wspólnej proporcji za pomocą równania:

$$p = \frac{n_1 + n_2}{x_1 + x_2}$$

gdzie:

n_1 – liczba poprawnych odpowiedzi uczniów z geografią na poziomie rozszerzonym,

n_2 – liczba poprawnych odpowiedzi uczniów z geografią na poziomie podstawowym,

x_1 – liczba wszystkich odpowiedzi uczniów z geografią na poziomie rozszerzonym,

x_2 – liczba wszystkich odpowiedzi uczniów z geografią na poziomie podstawowym.

Był to niezbędny element do obliczenia odchylenia standardowego dla testu Z, które dało możliwość zmierzenia precyzji różnicy między dwoma grupami. Został do tego wykorzystany wzór:

$$SE = \sqrt{p(1 - p) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}$$

Informację na temat istotności statystycznej otrzymano, obliczając p -wartość, czyli prawdopodobieństwo uzyskania takiego samego lub większego Z w rozkładzie normalnym:

$$p = 2 \cdot (1 - P(Z))$$

gdzie:

$P(Z)$ – wartość z tabeli rozkładu normalnego.

Ostatnim etapem była weryfikacja wyniku p -wartości według zasady określającej, że jeśli $p < 0,05$, to różnica jest istotna statystycznie.

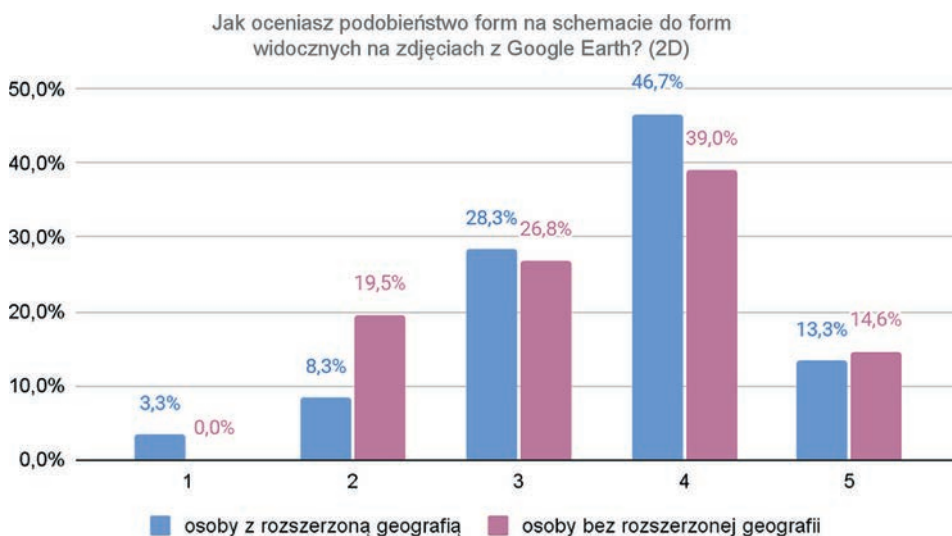
Wykonanie opisanych wyliczeń pozwoliło na potwierdzenie tezy autorów dotyczącej niewielkiej różnicy w ogólnym odbiorze wizualizacji 2D i 3D. Różnice istotne statystycznie wykazano jedynie w dwóch pytaniach – pierwszym i czwartym (tab. 1).

Tabela 1. Istotność statystyczna różnic między poprawnymi wynikami ankiet dotyczących wizualizacji 2D i 3D

Table 1. Statistical significance of the differences between correct results in 2D and 3D visualization surveys

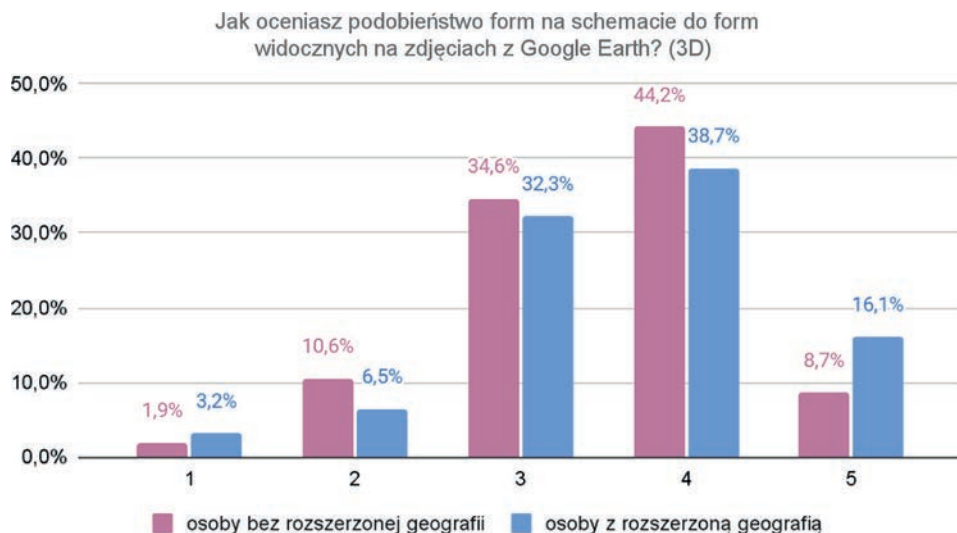
	Z-score (3D)	p-wartość (3D)	Istotność	Z-score (3D)	p-wartość (3D)	Istotność
1	1,96	0,049	TAK	-0,62	0,537	NIE
2	0,90	0,368	NIE	0,63	0,528	NIE
3	1,54	0,125	NIE	-0,05	0,962	NIE
4	0,67	0,506	NIE	2,22	0,026	TAK
5	0,25	0,803	NIE	1,29	0,198	NIE
6	1,03	0,304	NIE	-0,09	0,927	NIE

Ostatnie pytanie w kwestionariuszu polegało na określeniu w skali od 1 do 5 podobieństwa form przedstawionych na obu schematach do form widocznych na załączonych do pytań zrzutach ekranu z Google Earth. Odpowiadając na pytanie w sposób subiektywny, więcej osób z rozszerzoną geografią lepiej oceniło grafikę 3D, uznając ją za bardziej realistyczną. Wizualizację 2D preferowała grupa osób bez rozszerzenia, co może sugerować, że oceniono ją jako bardziej intuicyjną.



Ryc. 6. Wykres przedstawiający odpowiedzi na pytanie o subiektywną ocenę grafiki 2D

Fig. 6. Diagram showing the answers to the question about the subjective opinion on 2D graphic



Ryc. 7. Wykres przedstawiający odpowiedzi na pytanie o subiektywną ocenę grafiki 3D

Fig. 7. Diagram showing the answers to the question about the subjective opinion on 3D graphic

Najwyższą ocenę (5) przyznano w większym stopniu dla grafiki 2D przez uczniów bez rozszerzonej geografii, natomiast dla grafiki 3D przez uczniów z rozszerzeniem. Rozkład ocen średnich i niskich określić można jako proporcjonalny, natomiast w przypadkach obu wizualizacji więcej jednoznacznie negatywnych ocen (szczególnie 2) pochodziło od uczniów z rozszerzoną geografiją.

Finalne porównanie ocen przyznanych opracowaniu 2D i 3D wykazuje lepszy odbiór wizualizacji 2D, która zyskała więcej ocen pozytywnych (4 i 5 punktów w skali podobieństwa). 56,8% ankietowanych uznało formy widoczne na grafice 2D za „bardzo podobne” do krajobrazu Patagonii widocznego w Google Earth. W przypadku opracowania trójwymiarowego najlepsze oceny udzieliło 53,9% ankietowanych, z czego zdecydowana większość odpowiedzi wskazujących na największe podobieństwo udzielona została przez osoby z rozszerzoną geografiją.

Dla sprawdzenia istotności statystycznej różnicy pomiędzy wynikami 56,8% oraz 53,9% ponownie wykonano test z wykorzystaniem statystyki Z, powtarzając działania zastosowane w przypadku wykazu różnic dla wcześniejszych pytań. W wyniku obliczeń uzyskano rezultat $\approx 0,525$, który znajduje się w przedziale nieistotności $(-1,96; 1,96)$. Rozbieżności zaobserwowane w przypadku pytania o subiektywną ocenę nie są zatem statystycznie istotne dla badanej grupy i mogą wynikać z przyczyn losowych.

Dyskusja

Na podstawie porównania metod wizualizacji 2D i 3D oraz analizy wyników ankiet internetowych przeprowadzonych przez autorów można dostrzec różnice

w ich potencjale dydaktycznym. Istotnym elementem badania jest zestawienie zalet i wad obu analizowanych metod, a także identyfikacja ich podobieństw i różnic w kontekście skuteczności prezentacji przestrzeni glacialnej. Cechą wyróżniającą grafikę 3D jest możliwość wizualizacji terenu o dużym przewyższeniu oraz zróżnicowaniu wysokości w sposób przystępny dla odbiorcy; najefektywniejsze jej wykorzystanie ma miejsce w przypadku wizualizacji terenu ukształtowanego w sposób różnorodny (Powałowska i in., 2024). Obszar lodowca górskiego jest wobec tego obiektem atrakcyjnym dla wizualizacji trójwymiarowej, ponieważ ten typ krajobrazu cechują wysokie przewyższenia i zróżnicowanie form geomorfologicznych. Ponadto zdecydowaną zaletą grafiki 3D jest możliwość przedstawienia realistycznych materiałów za pomocą tekstur i oświetlenia w sposób o wiele prostszy niż w przypadku grafiki 2D. Programy do tworzenia opracowań 3D, takie jak Blender, stwarzają możliwość implementacji gotowych tekstur obrazkowych przedstawiających wybraną powierzchnię (w odniesieniu do modelu lodowca górskiego: śnieg, piasek, powierzchnia skalna). Tekstura zaimportowana w ten sposób rozkłada się automatycznie na wybranym obiekcie, współgrając z jego ukształtowaniem, a także oświetleniem sceny. Przygotowanie realistycznego opracowania dwuwymiarowego wymaga zdecydowanie większego nakładu pracy i bardziej zaawansowanych umiejętności z powodu braku gotowych tekstur, które dopasowują się odpowiednio do kształtu obrazowanego obiektu. Większość szczegółowych elementów należy nanieść na obraz ręcznie, co znacznie wydłuża czas pracy. Opracowanie 2D sprawdzi się jednak w przypadku grafik uproszczonych, a więc przy wizualizacji form glacialnych w sposób schematyczny, z nakreśleniem głównych, charakterystycznych cech danego rodzaju ukształtowania powierzchni. Dowodem na efektywność takiej metody wizualizacji są odpowiedzi na pytanie 7 w ankiecie, wymagające od respondenta rozpoznania moreny czołowej, w którym, w porównaniu do kwestionariusza z grafiką 3D, pozytywny wynik uzyskała większa grupa uczniów z rozszerzoną geografią. Grafika 2D zyskuje przewagę nad modelem trójwymiarowym w kontekście publikacji wyniku opracowania. Jest to rodzaj grafiki, który z łatwością umieścić można w dowolnej przestrzeni komputerowej i analogowej (Powałowska i in., 2024), a więc tego rodzaju grafika może zostać wydrukowana w podręczniku szkolnym i być używana jako narzędzie do edukacji dostępne w dowolnym momencie. Wyeksportowanie obiektu 3D do formatu obrazowego, na przykład PNG czy JPEG, i następnie zastosowanie go w sposób podobny do grafiki 2D w dowolnej przestrzeni jest możliwe poprzez wykonanie renderu, dzięki czemu otrzymywany jest obraz rastrowy w konkretnej perspektywie i oświetleniu. Wyklucza to jednak jedną z najważniejszych zalet grafiki 3D, czyli możliwość doświadczenia interaktywności tego sposobu prezentacji, która jest dostępna tylko za pomocą odpowiedniego oprogramowania bądź środowisk przeglądarek pozwalających na nawigację w trójwymiarowej przestrzeni modelu. Celem niniejszego badania była analiza efektywności wizualizacji (2D i 3D) w kontekście edukacyjnym, ze szczególnym skupieniem na grafice obecnej od lat w nauczaniu w postaci schematów podręcznikowych. W związku z tym zastosowano ograniczenie do statycznej prezentacji form oraz wizualiza-

cji w ankiecie internetowej. Należy jednak zauważyć, że w przypadku modelu 3D istnieją także inne metody prezentacji danych, które mogłyby wpłynąć na poziom zaangażowania odbiorców. Przykładowo zastosowanie animacji 3D lub interaktywnych aplikacji rzeczywistości wirtualnej (VR) mogłoby zwiększyć immersję uczestników badania, co potencjalnie przełożyłoby się na bardziej precyzyjne i wartościowe odpowiedzi. Innym wzbogaceniem byłoby umożliwienie respondentom manipulacji widokiem (np. zmianą perspektywy). Współczesna młodzież na co dzień ma szansę zetknąć się z grafiką trójwymiarową zarówno w formie statycznej, jak i interaktywnej. Jest ona dostępna w łatwy sposób w środowisku internetowym, co może mieć wpływ na ich percepcję prezentowanych treści. Wdrożenie rozwiązań wprowadzających możliwość manipulacji modelem wymaga jednak dodatkowej wiedzy oraz umiejętności technicznych. Zdecydowanie warto rozważyć zastosowanie tych technik w przyszłych badaniach pogłębiających tematykę porównania efektywności grafiki 2D i 3D w edukacji o złożonych procesach geomorfologicznych. Analiza wyników odpowiedzi na pytania testowe zadane w kwestionariuszach po uśrednieniu wykazuje niewielkie różnice w przyswajalności wiedzy zawartej w obu rodzajach wizualizacji graficznych; różnica ta wynosi zaledwie 0,8 punktu procentowego stanowiących o przewadze wizualizacji 3D. Porównanie odpowiedzi na poszczególne pytania z użyciem testu Z nie przyniosło jednoznacznego wyniku, ponieważ zaobserwować można wśród nich różnice zarówno nieistotne, jak i istotne statystycznie (tab. 1).

Wizualizacja 3D przyniosła lepsze rezultaty w większości pytań, szczególnie w zakresie rozpoznawania form glacialnych, takich jak jezior lodowcowy (85,2% w porównaniu do 76,3%) oraz sandr (80,3% w porównaniu do 61,7%). Niemniej w przypadku niektórych zagadnień, takich jak morena czołowa, wizualizacja 2D okazała się bardziej efektywna, zwłaszcza wśród uczniów realizujących rozszerzony program nauczania geografii (80,7% w porównaniu do 77%). Niektóre pytania, takie jak identyfikacja pola firnowego, okazały się bardziej wymagające dla uczniów niezależnie od zastosowanej metody wizualizacji. W przypadku tego pytania odnotowano najniższe wyniki w całym badaniu – zarówno uczniowie realizujący rozszerzenie z geografii, jak i pozostali uzyskali poniżej 60%. Może to sugerować, że niektóre zagadnienia geograficzne, zwłaszcza te zwracające uwagę na mniej znane i charakterystyczne formy terenu, wymagają zastosowania alternatywnych metod dydaktycznych lub bardziej szczegółowych technik wizualizacyjnych.

W większości przypadków uczniowie realizujący rozszerzony program nauczania geografii osiągnęli lepsze rezultaty w porównaniu do osób bez rozszerzenia tego przedmiotu, co sugeruje, że bardziej zaawansowana wiedza geograficzna sprzyja bardziej efektywnemu przyswajaniu i rozpoznawaniu form glacialnych. Przykładem może być wyższa skuteczność w identyfikacji moreny środkowej, którą poprawnie rozpoznało 90,8% uczniów rozszerzających geografię, w porównaniu do 78,8% wśród pozostałych respondentów, oraz jeziora lodowcowego, gdzie odsetek poprawnych odpowiedzi wyniósł odpowiednio 85,2% i 79,5%.

Rezultaty ankiety dotyczącej modelu 3D wskazują na pewną proporcjonalność, bowiem na każde z pytań testowych większa liczba poprawnych odpowiedzi udzielona została przez uczniów w klasach z rozszerzoną geografią. Proporcje te zmieniają się w wynikach kwestionariusza zawierającego wizualizację 2D, w których występuje widoczna nieregularność między przewagą poprawnych odpowiedzi udzielonych przez grupę rozszerzoną i podstawową. Taki rozkład odpowiedzi może prowadzić do wniosku, że niektóre formy terenu w grafice 2D mają dla odbiorcy niejednoznaczny, trudny do interpretacji charakter. Jest to także odejście od reguły, że uczniowie z rozszerzoną wiedzą geograficzną w lepszym stopniu przyswajają wiedzę przekazywaną przez ten rodzaj wizualizacji.

Należy również poruszyć kwestię subiektywnej oceny podobieństwa form na schemacie do form widocznych na zrzutach ekranu. W ankiecie odnoszącej się do modelu 3D większy procent poprawnych odpowiedzi na każde z pytań udzielili uczniowie z rozszerzoną geografią i ocenili oni podobieństwo odwzorowania w stopniach 4 i 5 (ryc. 7), czyli jako dobrze odwzorowane, liczniej niż osoby bez rozszerzenia. Również w ankietach odwołujących się do schematu 2D podobieństwo w stopniach 4 i 5 (ryc. 6) stwierdziło więcej uczniów rozszerzających geografię, którzy na większość pytań odpowiedzieli poprawnie. Pojawia się więc zależność, że respondenci potrafiący odpowiedzieć prawidłowo na pytania oceniają podobieństwo odwzorowania form na schemacie wyżej niż osoby, które relatywnie rzadziej wskazywały odpowiednie formy. Jednakże po zestawieniu ogólnej liczby ocen pozytywnych (klasyfikowanych jako 4 oraz 5) dla obu rodzajów wizualizacji nie wykazano różnic istotnych statystycznie.

Jednym z istotnych zagrożeń dla wiarygodności wyników ankiety internetowej jest brak pełnej wiedzy autorów na temat warunków, w jakich uczestnicy je wypełniali (Woźniak i in., 2023). Choć wiadomo, że część uczniów udzielała odpowiedzi podczas zajęć lekcyjnych, pozostałe okoliczności są nieznane, co może wpływać na rzetelność uzyskanych danych. Czynniki o potencjalnym wpływie na wyniki badania poza miejscem wykonania ankiety są również: obecny poziom wiedzy, zainteresowanie wybranym tematem, możliwość skupienia uwagi oraz samopoczucie uczniów.

Nie istnieje technika wizualizacji, która w pełni odpowiadałaby na wszystkie możliwe wymagania dotyczące prezentacji danego zjawiska. W przypadku wizualizacji 3D istotnym ograniczeniem są wymagania sprzętowe, czasochłonność procesu, a także konieczność posiadania odpowiednich umiejętności oraz wiedzy w zakresie danej tematyki. Model łądolodu omawiany przez autorów został uproszczony do podstawowych form glacjalnych i stosunkowo schematycznej rzeźby terenu, przedstawionej na jednolitym bloku bez uwzględniania aspektu geologicznego. Wizualizacja dwuwymiarowa wiąże się z mniejszą liczbą ograniczeń technologicznych niż grafika 3D, natomiast przedstawienie terenu z dużą szczegółowością stanowi istotne wyzwanie, wymaga bowiem dużych umiejętności autora. Grafika zaprezentowana przez autorów charakteryzuje się niskim poziomem szczegółowości zarówno w zakresie form terenu, jak i warstw geologicznych oraz tekstur powierzchni.

Tabela 2. Porównanie wybranych aspektów zaprezentowanych wizualizacji 3D i 2D
 Table 2. Comparison of selected aspects of 3D and 2D graphic methods

	Wizualizacja 3D	Wizualizacja 2D
Realizm	TAK	NIE
Schematyczność	NIE	TAK
Wymaganie dużej mocy obliczeniowej komputera	TAK	NIE
Łatwość udostępnienia poza środowiskiem cyfrowym przy zachowaniu wszystkich walorów	NIE	TAK
Duży nakład pracy w celu stworzenia realistycznego opracowania	NIE	TAK
Czytelność dla osób początkujących	NIE	TAK

Wnioski

W artykule zaprezentowano dwie metody prezentacji wizualnej form glacialnych na przykładzie Łądolodu Patagońskiego Południowego. Przeanalizowano efektywność grafiki dwuwymiarowej i trójwymiarowej poprzez dyskusję o możliwościach obu rodzajów wizualizacji w kontekście sporządzania realistycznych opracowań, implementacji w środowisku analogowym i cyfrowym, a także ich interaktywności. Dokonano również ankietyzacji online, w której respondentami byli uczniowie szkół średnich, by ocenić, która z metod najbardziej wspiera identyfikację form glacialnych na materiałach przedstawiających w sposób realistyczny współczesny krajobraz glacialny wśród uczniów zarówno z rozszerzoną geografią, jak i podstawową. Oba rodzaje prezentacji wizualnej wymagają wiedzy geograficznej, odpowiednich oprogramowań oraz umiejętności ich obsługi.

W sporządzaniu modelu 3D położono szczególny nacisk na umiejętność wykorzystywania oprogramowania zapewniającego możliwość modelowania w trzech wymiarach (XYZ). Jest to skuteczna metoda prezentacji, wymagająca poświęcenia większej ilości czasu na wykonanie modelu oraz komputera spełniającego wymogi do stabilnego działania programów.

Do wykonania wizualizacji 2D konieczna jest w dużym stopniu wiedza o grafice wektorowej i rastrowej, a także umiejętność poprawnego odwzorowania wybranego fragmentu terenu.

Obie prezentowane metody wizualizacji mają zalety i wady, które w zależności od specyfiki przedstawianych form mogą być wymienne. Zaletą modeli 3D jest szczególnie możliwość zobrazowania wielowymiarowości obiektu, co pozwala na łatwiejsze rozpoznanie form wypukłych lub wklęsłych, ale może sprawiać problem w grafice 2D.

Z kolei dwuwymiarowa wizualizacja jest w większym stopniu schematyczna i skupia uwagę odbiorcy na najbardziej charakterystycznych cechach wybranej formy, co przyczynia się do zwiększonej czytelności. Cechą łączącą prezentowane rodzaje wizualizacji jest konieczność posiadania konkretnych umiejętności przez

twórcę, aby takie opracowania wykonać. Dla osoby niezwiązanej z grafiką komputerową próg wejścia do tworzenia wizualizacji może być ogromną barierą.

Analiza wyników ankiet potwierdza, że nowoczesne technologie, takie jak grafika 3D, mogą znacząco wspierać proces nauczania geografii, zwłaszcza w zakresie trudnych do interpretacji wizualnej form terenu. Skuteczność tej technologii może w dużym stopniu zależeć od rodzaju formy terenu oraz przygotowania uczniów. W niektórych przypadkach klasyczne wizualizacje 2D mogą być równie efektywne, zwłaszcza w odniesieniu do bardziej znanych i łatwiejszych do rozpoznania form glacialnych. Należy też wspomnieć o dostępności obu sposobów wizualizacji; grafika 2D pozostaje medium prostszym do umieszczenia w przestrzeni analogowej, podczas gdy odtworzenie wszystkich funkcji modelu 3D wymaga zastosowania urządzenia elektronicznego.

Ze względu na niewielkie różnice w ostatecznych uśrednionych wynikach odpowiedzi na pytania testowe między obiema formami wizualizacji sugeruje się dalsze badania nad efektywnością różnych metod nauczania w geografii, z wzięciem pod uwagę odmiennych poziomów zaawansowania uczniów, a także zróżnicowanego podejścia do analizy wyników w zależności od zastosowanej technologii. Korzystne będzie również zgłębienie wpływu rodzaju materiału dydaktycznego (np. formy glacialne) na efektywność wizualizacji oraz rozszerzenie zakresu badań o animację 3D oraz wpływ technologii VR i AR na percepcję uczniów. Warto rozważyć także analizę różnic w wynikach badania w przypadku możliwości samodzielnej manipulacji modelem trójwymiarowym przez respondentów.

Literatura

- Aniya M., Sato H., Naruse R., Skvarca P., Casassa G., 1996, The Use of Satellite and Airborne Imagery to Inventory Outlet Glaciers of the Southern Patagonia Icefield, South America. Aniya M., Sato H., Naruse R., Skvarca P., Casassa G., 1997, Recent Glacier Variations in the Southern Patagonia Icefield, South America, *Arctic and Alpine Research*, 29, 1: 1–12.
- Carey M., 2007, The History of Ice: How Glaciers Became an Endangered Species, *Environmental History*, 12, 3: 497–527, <https://doi.org/10.1093/envhis/12.3.497>
- Carrasco J.F., Casassa G., Rivera A., 2002, Meteorologiczne i klimatyczne aspekty pola lodowego południowej Patagonii, [w:] G. Casassa, F.V. Sepúlveda, R.M. Sinclair (red.), *The Patagonian Icefields*, Serie Centro de Estudios Científicos, Springer, Boston, MA, https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0645-4_4
- Casassa G., Rivera A., Aniya M., Naruse R., 2002, Current Knowledge of the Southern Patagonia Icefield, [w:] G. Casassa, F.V. Sepúlveda, R.M. Sinclair (red.), *The Patagonian Icefields*, Series of the Centro de Estudios Científicos, Springer, Boston, MA, https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0645-4_7
- Casassa G., Rodríguez J.L., Loriaux T., 2014, A New Glacier Inventory for the Southern Patagonia Icefield and Areal Changes 1986–2000, [w:] J. Kargel, G. Leonard, M. Bishop, A. Kääb, B. Raup (red.), *Global Land Ice Measurements from Space*, Springer Praxis Books, Springer, Berlin, Heidelberg, https://doi.org/10.1007/978-3-540-79818-7_27
- Caviedes C.N., Paskoff R., 1975, Quaternary Glaciations in the Andes of North-Central Chile, *Journal of Glaciology*,

- 14(70): 155–170, <https://doi.org/10.3189/S0022143000013472>, *Communication*, 3(1), <https://doi.org/10.1111/j.1083-6101.1997.tb00064.x>
- Couper M.P., 2000, Review: Web Surveys: A Review of Issues and Approaches, *Public Opinion Quarterly*, 64, 4: 464–494, <https://doi.org/10.1086/318641>
- Dmochowska-Dudek K., 2016, Fotogrametria bliskiego zasięgu – nowe możliwości dla badań w geografii osadnictwa, *Podstawowe Idee i Koncepcje w Geografii*, 9. Foley J.D., 1996, *Computer Graphics: Principles and Practice*, Addison-Wesley systems programming series.
- Jędrzycka R., 2006, Wykorzystanie Google Earth we własnej aplikacji do internetowej wizualizacji danych geograficznych, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 16: 259–268.
- Kirkbride M.P., 2002, Procesy transportu glacialnego, [w:] J. Menzies (red.), *Modern and Past, Glacial Environments*, Butterworth-Heinemann, Oxford, s. 147–169, <https://doi.org/10.1016/B978-075064226-2/50009-X>
- Mazzoni E., Coronato A., Rabassa J., 2009, The Southern Patagonian Andes: The Largest Mountain Ice Cap of the Southern Hemisphere, [w:] P. Migon (red.), *Geomorphological Landscapes of the World*, Springer, Dordrecht, https://doi.org/10.1007/978-90-481-3055-9_12
- Menzies J., 2011, Glacial geomorphology, [w:] A.S. Goudie, K.J. Gregory (red.), *The SAGE Handbook of Geomorphology*, SAGE, London, s. 378–392, <https://doi.org/10.4135/9781446201053.n22>
- Patterson T.C., 2007, Google Earth as a (Not Just) Geography Education Tool, *Journal of Geography*, 106, 4. Powalowska D., Hajdrowski P., Stróżyk M., Osses A., Woźniak J., 2024, Ocena wybranych metod graficznej prezentacji obszaru delty rzecznej na przykładzie Wstecznej Dłty Świny, [w:] A. Kostrzewski (red.), *Wybrane metody badań środowiska geograficznego Polski*, Geoprzestrzeń, 8: 85–101.
- Rivera A., Benham T., Casassa G., Bamber J., Dowdeswell J.A., 2007, Ice elevation and areal changes of glaciers from the Northern Patagonia Icefield, Chile.
- Rosenblüth B., Fuenzalida H., Aceituno P., 1997, Ostatnie zmiany temperatury w południowej części Ameryki Południowej, *Międzynarodowe Czasopismo Klimatologiczne*, 17: 67–85.
- Roy J., Triola M.F., 2006, *Biostatistics for the Biological and Health Sciences*.
- Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 30 stycznia 2018 r. w sprawie podstawy programowej kształcenia ogólnego dla liceum ogólnokształcącego, technikum oraz branżowej szkoły II stopnia.
- Sakakibara D., Sugiyama S., 2014, Ice-front variations and speed changes of calving glaciers in the Southern Patagonia Icefield from 1984 to 2011.
- Smith C.B., 1997, Casting the net: surveying an internet population, *J. Computer-Mediated*.
- Souchez R.A., Lorrain R.D., 1991, *The Glacier System*, [w:] Ice Composition and Glacier Dynamics, Springer Series in Physical Environment, 8, Springer, Berlin, Heidelberg, https://doi.org/10.1007/978-3-642-58187-8_1
- Stroeven A., Darrel P., Swift A., 2008, Glacial landscape evolution – Implications for glacial processes, patterns and reconstructions, *Geomorphology*, 97, 1–2: 1–4.
- Warren C.R., Sugden D.E., 1993, The Patagonian Icefields: A Glaciological Review, *Arctic and Alpine Research*, 25(4): 316–331, <https://doi.org/10.1080/00040851.1993.12003018>
- Woźniak J., Rymarkiewicz W., Łyszczasz D., Horbiński T., 2024, Effectiveness Study on the Correct Interpretation of Point Symbols Using the Online Survey Method on the Example of the Witcher 3: Wild Hunt, *KN Journal of Cartography and Geographic Information*, 74, <https://doi.org/10.1007/s42489-023-00158-2>
- Zekollari H., Huss M., Farinotti D., Lhermitte S., 2022, Ice-dynamical glacier evolution modeling – A review, *Reviews of Geophysics*, 60: e2021RG000754, <https://doi.org/10.1029/2021RG000754>

Źródła internetowe

<https://www.cvent.com/en/blog/events/advantages-disadvantages-online-surveys>

<https://zpe.gov.pl/a/przeczytaj/DS1LEBO5S>

<https://www.pnw.edu/wp-content/uploads/2020/03/lecturenotes8-10.pdf>

<https://louis.pressbooks.pub/introductorystatistics/chapter/6-5-the-normal-approximation-to-the-binomial/>

Comparison of educational efficiency of 3D and 2D graphic presentations in terms of glacial landscape on the example of Southern Patagonian Ice Field

Abstract: The paper compares two methods of presenting a mountain glacier: a 3D model and a 2D graphic of the Southern Patagonian Ice Field. Secondary school students evaluated these visualizations through an online survey, consisting of a glacial forms recognition test and a question about their subjective perception. The results showed that both methods effectively convey information, depending on the material type, students' knowledge, and focus ability. Differences were most visible in recognizing specific glacial forms, such as the terminal moraine. The study demonstrated that both visualization methods serve distinct purposes, emphasizing selected aspects of terrain representation and offering unique educational value.

Keywords: Southern Patagonian Ice Field, graphic methods comparison, graphic visualisations, glacial landforms, geography education

Sekcja Kartografii i Geomatyki
Studenckie Koło Naukowe Geografów im. Stanisława Pawłowskiego
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Cyprian Święch, Zofia Czerwińska, Marcin Jaremko, Klaudia Bezler

Tworzenie wirtualnej przestrzeni z wykorzystaniem dostępnych danych przestrzennych

Zarys treści: Autorzy niniejszego artykułu prezentują metodologię tworzenia wirtualnej przestrzeni z wykorzystaniem ogólnodostępnych danych przestrzennych, które umożliwiają wierne zachowanie położenia obiektów. Przedstawiono schemat postępowania na przykładzie oprogramowania Blender do modelowania 3D oraz silnika do tworzenia gier Godot Engine. Stworzone na potrzeby tego artykułu wirtualne środowisko odwzorowuje fragment miasta Poznania. Wykorzystane dane dotyczące budynków zostały pozyskane z Systemu Informacji Przestrzennej miasta Poznania. Tak stworzony cyfrowy odpowiednik świata rzeczywistego może znaleźć zastosowanie w badaniach zachowania użytkowników, rekonstrukcji obiektów, przygotowywaniu zaawansowanych wizualizacji przestrzeni, a także tworzeniu gier w oparciu o realne dane przestrzenne. Zaproponowana metodologia stanowi uniwersalny schemat, który może być wykorzystany w innych narzędziach, także z różnymi źródłami danych, a ich łączenie może dać jeszcze bardziej zadowalające rezultaty.

Słowa kluczowe: wirtualna przestrzeń, silnik gier, modelowanie 3D, Godot Engine, Blender

1. Wstęp

Sposób wizualizacji danych na mapach zmienia się wraz z postępem technologicznym. Do niedawna obiekty topograficzne były przedstawiane jedynie za pomocą symboli reprezentujących jeden styl w grafice (Smaczyński, Horbiński, 2020). Dzisiejsze możliwości pozwalają tworzyć modele przestrzenne, które stają się coraz bardziej zbliżone do prawdziwych przeżyć w świecie rzeczywistym. Ta-

kie doświadczenia umożliwiają wirtualne środowiska, które są interaktywnymi, trójwymiarowymi graficznymi symulacjami przestrzeni wygenerowanymi komputerowo, które reagują na ruch użytkownika (Montello i in., 2004). Badania w środowisku świata rzeczywistego mogą być obarczone znaczącymi problemami logistycznymi (np. warunki pogodowe), podczas gdy wirtualne środowiska stanowią alternatywę, która pozwala uniknąć tego typu ryzyka (Darken, Banker, 1998). Dla przeciwstawienia Walas (2023) ostrzega przed przekroczeniem granic fizycznej rzeczywistości, czyli zaprojektowaniem świata, w którym nie do końca sprawdzają się prawa fizyczne, rządzące przestrzenią, czasem, mechaniką czy właściwościami materiałów. Jednak mając na uwadze powyższe zagrożenie, środowiska rzeczywistości wirtualnej mogą pod wieloma względami lepiej sprawdzić się w różnego rodzaju badaniach.

Jest wiele metod przekształcania naturalnej przestrzeni w jej wirtualną wersję, każda z nich posiada zarówno wady, jak i zalety. Do opracowania modeli 3D większych obszarów powszechnie stosuje się LiDAR oraz fotogrametrię. Obie technologie umożliwiają generowanie chmur punktów, na podstawie których tworzone są następnie modele 3D. Jednak największym wyzwaniem dla tych sposobów, zwłaszcza w trakcie lotniczej fotogrametrii, stanowi filtrowanie (usuwanie) punktów roślinności w celu uzyskania dokładnej reprezentacji „gołej ziemi” podczas tworzenia modeli 3D SfM (Rossi i in., 2018). Co więcej, wykorzystanie klasycznej lotniczej lub metrycznej kamery fotogrametrycznej staje się nieopłacalne dla mniejszych powierzchni. Z tego powodu można wykorzystać inne rozwiązania. DEM, czyli cyfrowy model wysokości, można wygenerować z różnorodnych źródeł danych, takich jak tachimetr, skaning laserowy, GPS, LIDAR, SAR itp. Pozyskane informacje znajdują zastosowanie w realizacji projektów inżynierii lądowej, która skupia się na zmianach terenu, ale także jest to typowy sposób opisu morfologii terenu. Jednakże koszt wytworzenia produktów o wysokiej dokładności jest na ogół bardzo wysoki (Pérez i in., 2013). Alternatywnym sposobem tworzenia wirtualnych przestrzeni, często darmowym, są otwartoźródłowe programy do grafiki 3D, które służą do modelowania, animacji, symulacji, renderowania, compositingu i edycji wideo. Takim przykładem może być Unity3D, które posiada wysoką jakość renderingu scen, możliwość wykorzystania oświetlenia obiektów VR w czasie rzeczywistym, a także niezliczony pakiet modeli 3D, animacji, kodów oraz narzędzi (Anders, Zwirowicz-Rutkowska, 2017). W przeciwieństwie do autorów obsługa i złożoność programu została przez nas uznana za nieadekwatną do jakości. Warto też zauważyć, że realistyczne środowisko 3D nie musi być odwzorowaniem bezpośrednim środowiska występującego w świecie rzeczywistym. Fumarola i Poelman (2011) określają pojęcie realizmu funkcjonalnego jako przekazywanie informacji o rzeczywistych obiektach, takich jak ich kształty, rozmiary, ruchy i materiały. Ma to pewnego rodzaju ograniczenia i nie umożliwia pełnej immersji doświadczenia. Biorąc jednak pod uwagę zastosowanie również innych narzędzi i celowości badania, wykorzystanie takiego oprogramowania oraz zastosowanie silnika do tworzenia gier 3D może dać wiarygodnie odwzorowaną przestrzeń wirtualną. Tego typu rozwiązania sprawdzają się w grach na PC, konsolach, platformach mobilnych i internetowych, których przemysł wpływa na

coraz szybszy rozwój wirtualnych przestrzeni i prowadzi do ciągłego zwiększania ich jakości. Ponadto coraz nowsze badania wskazują, że kartografia od dawna odgrywa ważną rolę w grach wideo (Horbiński, Zagata, 2022). Sprawia to, że wirtualna rzeczywistość jest cennym i łatwiej dostępnym narzędziem badawczym (Clay i in., 2019). Chociaż warto zaznaczyć, że są wyjątki. Wdrażając możliwości VR do reprezentacji 3D, zwiększamy poziom immersji (Hruby i in., 2020), dzięki czemu alternatywa wirtualnych środowisk staje się bardziej zbliżona do prawdziwych przeżyć w świecie rzeczywistym, a badania pozwalają na łatwiejsze osiągnięcie rezultatów.

Celem artykułu jest przedstawienie sposobu tworzenia wirtualnej przestrzeni. Zaprezentowano i wykorzystano dane przestrzenne oraz programy mające wpływ i znaczenie w przemyśle gier komputerowych, takie jak Godot Engine oraz Blender, które nie zostały wybrane przypadkowo.

2. Zastosowanie wirtualnych przestrzeni

Rzeczywisty rozwój technologii cyfrowych i rosnące możliwości obliczeniowe współczesnych systemów informatycznych sprawiły, że wirtualne przestrzenie stały się kluczowym narzędziem w wielu dziedzinach nauki, przemysłu i rozrywki. Wirtualna przestrzeń to cyfrowo wygenerowane środowisko, które może odwzorowywać rzeczywisty świat lub stanowić całkowicie fikcyjne otoczenie. Dzięki technikom modelowania 3D, rzeczywistości wirtualnej (VR) i rzeczywistości rozszerzonej (AR) możliwe jest tworzenie immersyjnych doświadczeń dla użytkowników (Milgram, Kishino, 1994).

Jednym z kluczowych obszarów wykorzystania wirtualnych przestrzeni jest architektura i urbanistyka. Zaawansowane modele 3D pozwalają na precyzyjne planowanie i wizualizację przyszłych inwestycji, analizowanie wpływu zabudowy na środowisko oraz testowanie różnych wariantów projektowych jeszcze przed rozpoczęciem budowy. Cyfrowe modele miast umożliwiają również symulowanie zmian infrastrukturalnych i badanie interakcji przestrzennych, co wspiera procesy decyzyjne w planowaniu urbanistycznym (Batty, 2018).

Wirtualne przestrzenie znajdują także szerokie zastosowanie w przemyśle i inżynierii. Technologie te pozwalają na tworzenie cyfrowych prototypów i testowanie ich w symulowanych warunkach, co znacznie redukuje koszty produkcji i skraca czas wdrażania nowych rozwiązań. Wirtualne fabryki i linie montażowe umożliwiają optymalizację procesów produkcyjnych, a zaawansowane interfejsy VR pozwalają na zdalne sterowanie maszynami i monitorowanie stanu infrastruktury w czasie rzeczywistym (Nee i in., 2012).

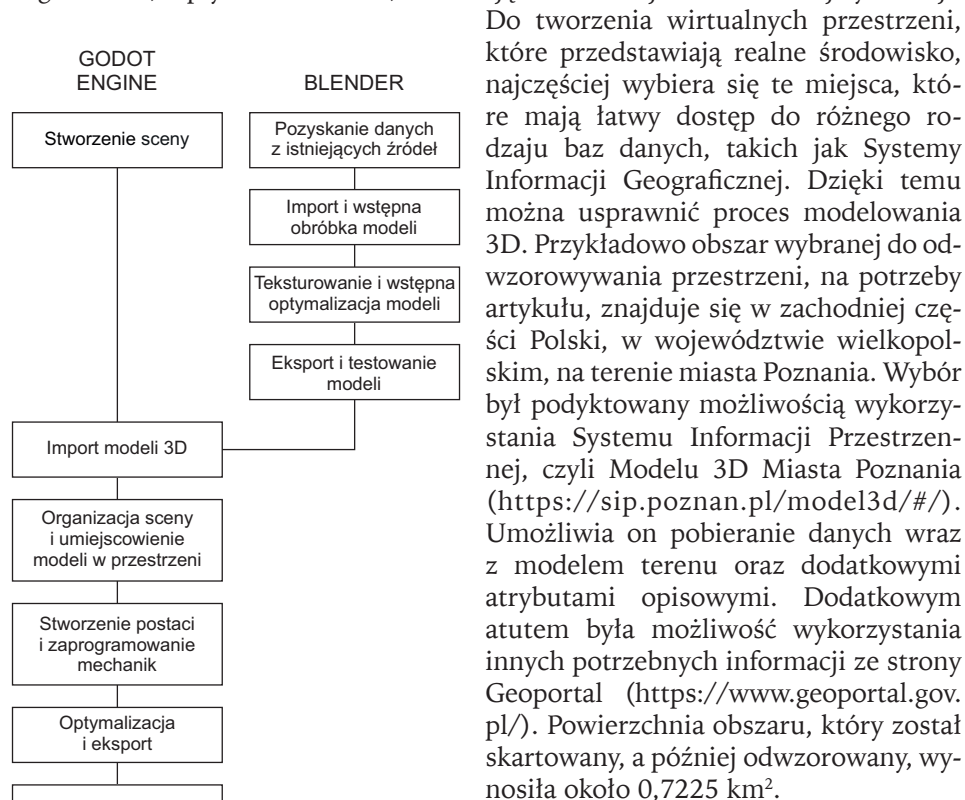
Równie istotnym obszarem zastosowań wirtualnych przestrzeni jest medycyna i rehabilitacja. Technologie VR są wykorzystywane zarówno w diagnostyce, jak i terapii, np. w leczeniu fobii, zaburzeń lękowych czy terapii pourazowej. Pacjenci mogą być stopniowo ekspozowani na stresory w kontrolowanym środowisku, co ułatwia proces terapeutyczny. Ponadto wirtualne przestrzenie wspomagają

rehabilitację neurologiczną, pomagając pacjentom w odzyskiwaniu funkcji motorycznych po udarach i urazach mózgu (Laver i in., 2017).

Wirtualne przestrzenie odgrywają kluczową rolę w modelowaniu oraz wizualizacji obiektów i środowisk miejskich. Cyfrowe odwzorowanie zabudowy i infrastruktury umożliwia nie tylko analizę przestrzenną i urbanistyczną, ale również integrację z Systemami Informacji Geograficznej (GIS), co pozwala na tworzenie bardziej zaawansowanych i dynamicznych modeli miast (Longley i in., 2015). Zastosowanie technologii 3D w analizie przestrzennej i kartografii otwiera nowe możliwości w zakresie planowania urbanistycznego, monitorowania zmian środowiskowych oraz interaktywnej eksploracji danych geograficznych (Goodchild, 2009).

3. Wybór odwzorowywanej przestrzeni

Wybór odwzorowywanej przestrzeni zależy od celowości i zastosowania wirtualnego świata, wpływa na realizm, immersję oraz funkcjonalność danej symulacji.



Ryc. 1. Schemat działań w wybranym oprogramowaniu

Źródło: opracowanie własne.

Do tworzenia wirtualnych przestrzeni, które przedstawiają realne środowisko, najczęściej wybiera się te miejsca, które mają łatwy dostęp do różnego rodzaju baz danych, takich jak Systemy Informacji Geograficznej. Dzięki temu można usprawnić proces modelowania 3D. Przykładowo obszar wybranej do odwzorowywania przestrzeni, na potrzeby artykułu, znajduje się w zachodniej części Polski, w województwie wielkopolskim, na terenie miasta Poznania. Wybór był podyktowany możliwością wykorzystania Systemu Informacji Przestrzennej, czyli Modelu 3D Miasta Poznania (<https://sip.poznan.pl/model3d/#/>). Umożliwia on pobieranie danych wraz z modelem terenu oraz dodatkowymi atrybutami opisowymi. Dodatkowym atutem była możliwość wykorzystania innych potrzebnych informacji ze strony Geoportal (<https://www.geoportal.gov.pl/>). Powierzchnia obszaru, który został skartowany, a później odwzorowany, wynosiła około 0,7225 km².

Dalsze kroki kreowania wybranej przestrzeni odbywały się w programach Blender oraz Godot Engine. Dla lepszego zrozumienia omawianego procesu

autorzy dołączyli schemat kolejnych etapów (ryc. 1). Poszczególne elementy wykonanej pracy zostaną opisane bardziej szczegółowo w dalszych częściach artykułu.

4. Przygotowanie modeli 3D

Dzięki wybraniu przestrzeni można było przejść do przygotowania modeli 3D, które stanowią cyfrową reprezentację obiektów w trójwymiarze. Są wykorzystywane w wielu dziedzinach, takich jak gry komputerowe, animacje, symulacje naukowe, projektowanie przemysłowe czy wizualizacje architektoniczne (Geng, 2011). Podstawową cechą modeli 3D jest ich matematyczna struktura, opisana za pomocą siatek wielokątów (*polygon mesh*), chmur punktów lub powierzchni opartych na NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) (Mortenson, 2006).

Modele 3D mogą być tworzone od podstaw lub generowane na podstawie danych uzyskanych z różnych źródeł, takich jak: skanowanie 3D, bazy danych modeli bądź algorytmiczne generowanie modeli.

Tworzenie modelu 3D składa się z kilku etapów, a pierwszym z nich jest projektowanie koncepcyjne. Kolejno przechodzi się do modelowania i teksturowania. Po nich opcjonalnie następuje rigging i animacja. Natomiast cały proces kończy się renderowaniem.

Do wykonania modeli wykorzystany został program Blender, który jest zaawansowanym narzędziem do modelowania 3D, teksturowania, animacji i renderowania, wykorzystywanym zarówno przez profesjonalistów, jak i amatorów. Dzięki otwartemu kodowi źródłowemu oraz aktywnej społeczności użytkowników, Blender rozwija się dynamicznie, oferując liczne funkcje i wsparcie dla nowoczesnych procesów twórczych. Co bardzo ważne, Blender jest wielopłatformowy i działa równie dobrze na komputerach z systemami operacyjnymi Linux, Windows i Macintosh (Kisiel, 2020).

Aby stworzyć wysokiej jakości modele 3D, konieczne było przeprowadzenie kilku kluczowych etapów pracy. Pierwszym krokiem było pozyskanie danych z istniejących źródeł, co umożliwiło wykorzystanie gotowych modeli oraz ich dalszą modyfikację. Następnie zaimportowano modele i przeprowadzono ich wstępną obróbkę, obejmującą m.in. konwersję formatów oraz optymalizację geometrii. Kolejnym istotnym etapem było teksturowanie i optymalizacja modeli, co wpłynęło na ich finalny wygląd i efektywność renderowania. Ostatnim krokiem był eksport modeli i ich testowanie, mające na celu sprawdzenie poprawności działania i dostosowanie ich do końcowego zastosowania. Szczegółowy opis każdego z tych etapów znajduje się w kolejnych podrozdziałach.

4.1. Pozyskanie danych z istniejących źródeł

Dane dotyczące zabudowy miast są kluczowe dla różnych zastosowań, takich jak planowanie urbanistyczne, wizualizacje architektoniczne, symulacje środowiskowe oraz systemy informacji geograficznej (GIS). Można je pozyskać z takich źró-

del, jak: Miejskie Systemy Informacji Przestrzennej (SIP/GIS), bazy danych krajowe i europejskie, otwarta baza OpenStreetMap (OSM) czy skanowanie LiDAR i fotogrametria.

Pliki modeli 3D mogą występować w różnych formatach, które różnią się poziomem szczegółowości, strukturą danych oraz kompatybilnością z oprogramowaniem GIS i modelowania 3D. Do najpopularniejszych należą: CityGML, OBJ (Wavefront), FBX (Filmbox), 3DS (3D Studio) i STL (Stereolithography).

Dane dotyczące zabudowy miasta Poznania zostały pozyskane z Systemu Informacji Przestrzennej (SIP) miasta, który oferuje trójwymiarowe modele budynków w formacie kompatybilnym z popularnymi narzędziami do modelowania 3D oraz umożliwia ich pobranie. Modele budynków w SIP zostały pozyskane w formacie .obj i były domyślnie scalone w jeden duży obiekt, co wymagało ich rozdzielania na odrębne elementy, umożliwiając większą elastyczność w dalszym etapie pracy i dopasowanie poziomu szczegółowości modeli do wymagań projektu.

4.2. Import i wstępna obróbka modeli

Proces importu i wstępnej obróbki modeli 3D jest kluczowym etapem przygotowania danych do dalszej analizy i wizualizacji. Modele budynków i inne obiekty przestrzenne pozyskane z różnych źródeł, takich jak Systemy Informacji Przestrzennej (SIP), otwarte repozytoria modeli 3D czy pliki CAD, wymagają odpowiedniego dostosowania przed ich użyciem w środowiskach graficznych i symulacyjnych (Zlatanova i in., 2013). Importowane pliki mogą posiadać niejednolite struktury, duże rozmiary lub błędy geometryczne, które należy skorygować w celu zapewnienia spójności danych.

Przed rozpoczęciem pracy konieczna jest analiza zawartości plików oraz ich dostosowanie do wymagań projektu. Typowy proces importu i wstępnej obróbki modeli 3D obejmuje kilka kluczowych etapów, takich jak:

- Import plików – wczytanie danych do wybranego środowiska modelowania.
- Rozdzielanie i organizacja obiektów – separacja elementów modelu na indywidualne obiekty, co umożliwia ich dalszą edycję i manipulację.
- Poprawa geometrii – usuwanie błędów topologicznych.
- Porządkowanie sceny – hierarchiczna organizacja obiektów, przypisywanie nazw i metadanych dla łatwiejszego zarządzania modelem.
- Optymalizacja – redukcja liczby wielokątów, optymalizacja tekstur i uproszczenie modelu w celu poprawy wydajności w dalszych etapach pracy.

W kontekście tego projektu proces ten został przeprowadzony na danych przestrzennych pochodzących z SIP. Modele budynków pobrano w formacie OBJ i zaimportowano do programu Blender, który umożliwia kompleksową edycję geometrii i struktur obiektów. Kolejno, dzięki użyciu funkcji *Separate by Loose Parts*, która służy do automatycznego rozdzielania siatki obiektów na podstawie ich połączeń geometrycznych, rozdzielono modele budynków na osobne elementy. Było to kluczowe w przypadku tego projektu, ponieważ pozwoliło na szybkie przygotowanie indywidualnych modeli budynków do dalszej edycji. Następnie wszystkie obiekty zostały odpowiednio nazwane zgodnie z ich lokalizacją i typem.

Hierarchiczna organizacja w panelu *Outliner* ułatwiła zarządzanie sceną i przyspieszyła proces edycji.

Dzięki wykonaniu tych działań możliwe było płynne przejście do kolejnych etapów przetwarzania modeli, takich jak edycja geometrii, teksturowanie czy integracja z innymi danymi przestrzennymi. Właściwa organizacja i wstępna obróbka danych znacznie usprawniły dalsze prace nad wizualizacją i analizą przestrzenną.

4.3. Teksturowanie i optymalizacja modeli

Teksturowanie i optymalizacja modeli 3D to kluczowe etapy procesu tworzenia realistycznych wizualizacji i symulacji przestrzennych. Tekstury nadają modelom szczegółowy wygląd, imitując materiały, takie jak beton, szkło czy metal, a optymalizacja geometrii pozwala na zwiększenie wydajności obliczeniowej bez zauważalnej utraty jakości. W zależności od zastosowania tekstury mogą być generowane proceduralnie, pozyskiwane z bibliotek internetowych lub tworzone na podstawie zdjęć rzeczywistych powierzchni (Pharr i in., 2016).

Optymalizacja modeli jest równie istotna, szczególnie w kontekście aplikacji interaktywnych, takich jak rzeczywistość wirtualna (VR) czy gry komputerowe. Modele 3D muszą być dostosowane pod względem liczby wielokątów, aby zapewnić płynną pracę systemu. W tym celu stosuje się techniki redukcji geometrii, m.in. *Decimate Modifier* w *Blenderze*, który zmniejsza liczbę wierzchołków, zachowując ogólny kształt modelu (Garland, Heckbert, 1997).

W ramach projektu proces teksturowania i optymalizacji modeli zaczęto od przygotowania tekstur. W tym celu wykorzystano materiały dostępne w internetowych bibliotekach, takich jak *Texture Haven* oraz *Pixabay*. Pliki te zostały zoptymalizowane pod względem rozdzielczości (1024×1024 pikseli) w celu zapewnienia kompromisu między jakością wizualną a wydajnością obliczeniową. Następnie skupiono się na mapowaniu UV. Dla prostszych budynków zastosowano narzędzie *Smart UV Project*, które automatycznie generuje mapy UV na podstawie kształtu obiektu. W przypadku bardziej skomplikowanych modeli siatki UV zostały ręcznie dostosowane w celu uniknięcia artefaktów teksturowania, takich jak rozciągnięcia lub błędy na krawędziach obiektów. Na końcu w celu poprawy wydajności systemu bez znaczącej utraty jakości wizualnej przeprowadzono redukcję liczby wierzchołków za pomocą funkcji *Decimate Modifier*, co pozwoliło na ograniczenie liczby wielokątów w skomplikowanych modelach.

Dzięki przeprowadzonym działaniom modele stały się bardziej realistyczne, a jednocześnie zoptymalizowane pod kątem efektywnej wizualizacji i interakcji w środowisku cyfrowym. Teksturowanie i optymalizacja stanowią nieodzowną część procesu przygotowania modeli do dalszych etapów pracy, takich jak renderowanie czy integracja z systemami rzeczywistości wirtualnej.

4.4. Eksport i testowanie

Końcowy etap przygotowania modeli 3D obejmuje ich eksport do odpowiedniego formatu oraz testowanie w docelowym środowisku. Proces ten ma na celu zapew-

nienie zgodności modeli z silnikami renderującymi i aplikacjami, w których będą wykorzystywane. Niezależnie od przeznaczenia – czy to gry komputerowe, wizualizacje architektoniczne czy aplikacje VR – istotne jest zachowanie właściwej geometrii, tekstur oraz optymalnej liczby wielokątów, co wpływa na wydajność i jakość renderingu (Pharr i in., 2016).

Eksport modeli wymaga wyboru odpowiedniego formatu pliku. W zależności od wymagań projektu stosuje się różne formaty:

- OBJ – popularny format plików 3D, obsługiwany przez większość silników graficznych. Przechowuje informacje o geometrii i mapach UV, jednak nie wspiera animacji.
- FBX – często używany w silnikach, takich jak Unity i Unreal Engine. Umożliwia eksportowanie nie tylko geometrii i tekstur, ale także animacji, co czyni go wszechstronnym formatem dla aplikacji interaktywnych.
- GLTF/GLB – format zoptymalizowany pod kątem aplikacji internetowych i technologii VR. Dzięki wydajnemu sposobowi przechowywania danych pozwala na efektywne zarządzanie geometrią, materiałami i animacjami.

Po wyeksportowaniu modeli konieczne jest ich przetestowanie w docelowym środowisku. Testy obejmują sprawdzenie poprawności tekstur, oświetlenia oraz interakcji modelu z otoczeniem. Problemy takie jak błędy w mapach UV, niepoprawne materiały czy zbyt wysoka liczba wielokątów mogą powodować spadki wydajności lub artefakty wizualne, dlatego w razie potrzeby modele są ponownie edytowane w programie do modelowania 3D (Ebert i in., 2002).

W ramach projektu końcowa obróbka modeli polegała na optymalizacji sceny poprzez usunięcie nieużywanych materiałów oraz niewidocznych elementów siatki. Dzięki temu zmniejszono rozmiar pliku wynikowego, a tym samym zwiększono wydajność silnika graficznego. Potem wyeksportowano modele w formacie OBJ, który zapewnia zgodność z silnikiem Godot Engine, zachowując wszystkie niezbędne informacje o geometrii oraz mapach UV. Ostatnią czynnością było przeprowadzenie testów poprawności tekstur oraz zachowania modeli w środowisku wirtualnym. Wszelkie niezgodności, takie jak błędne mapowanie UV czy nadmiarowe wielokąty, zostały skorygowane w Blenderze.

Dzięki przeprowadzeniu testów możliwe było wykrycie i wyeliminowanie ewentualnych błędów przed finalnym wdrożeniem modeli. Proces ten pozwolił na uzyskanie optymalnych wyników pod względem wizualnym i wydajnościowym, co ma kluczowe znaczenie dla płynności działania aplikacji i jakości renderowanej sceny.

5. Stworzenie wirtualnej przestrzeni w silniku do tworzenia gier

Wirtualne przestrzenie są trójwymiarowymi, interaktywnymi symulacjami graficznymi w czasie rzeczywistym, które przedstawiają wygenerowaną komputerowo przestrzeń, która jest responsywna na ruch użytkownika (Montello i in.,



Ryc. 2. Przestrzeń w silniku Godot Engine odwzorowująca fragment miasta Poznania
Źródło: opracowanie własne.

2004). Proces ich tworzenia ma na celu realizację przestrzeni stanowiącej odwzorowanie świata rzeczywistego bądź abstrakcyjnego obszaru, w którym mogą być osadzone obiekty (budowle, rośliny, drogi itp.) oraz zawierającą możliwość interaktywnego poruszania się w niej.

Gry, w których wirtualne przestrzenie występują, najczęściej są tworzone za pomocą silników do tworzenia gier (ang. *game engine*). Mają one wpływ na formę i postać końcową gry. Silnik ułatwia tworzenie gry, ograniczając pracę polegającą na pisaniu kodu, co wpływa na niższy próg wejścia dla początkujących. Składa się on z wielu elementów, takich jak: manager sceny, manager skryptu czy manager fizyki gry (Thorn, 2011). Za jego pomocą można tworzyć kolejne fragmenty gry, która jest osadzona w wirtualnej przestrzeni. W tej przestrzeni mogą być osadzone obiekty, w tym modele 3D, z którymi postać ma możliwość wejścia w interakcję.

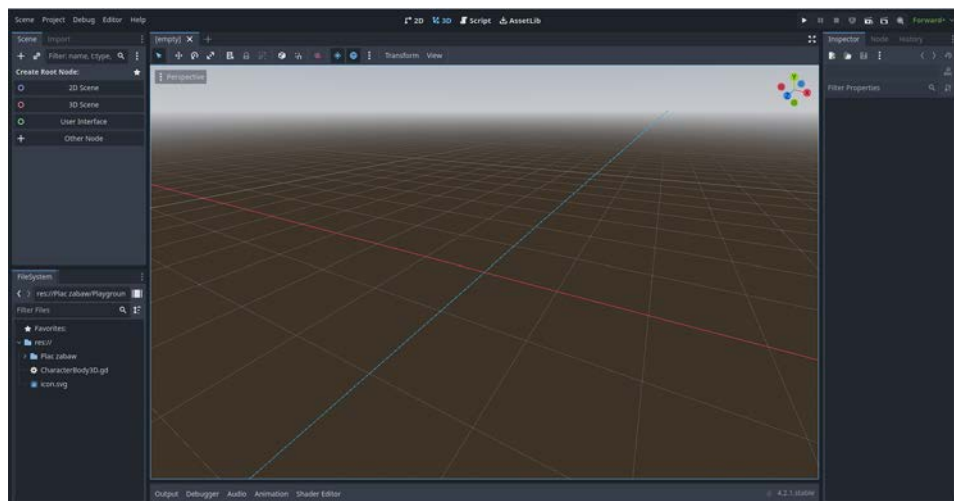
Na potrzeby niniejszego artykułu został wykorzystany silnik do tworzenia gier Godot Engine w wersji 4.2.1. Został on wybrany spośród innych dostępnych rozwiązań (m.in. Unity, Unreal Engine) dlatego, że jest przyjazny dla początkujących użytkowników tego typu oprogramowania. Jest w pełni darmowy, a dostępne poradniki oraz dokumentacja ułatwiają naukę korzystania z niego. Stworzony obszar wynosił około 0,72 km² i przedstawiał fragment miasta Poznania (ryc. 2).

5.1. Stworzenie sceny

Pierwszym krokiem w procesie tworzenia wirtualnej przestrzeni jest stworzenie sceny (ang. *scene*) (ryc. 3). Sceny są zazwyczaj używane do tworzenia i organizowania różnych obiektów wchodzących w skład projektu (Bradfield, 2018). Podstawowy obiekt w Godot Engine nazywany jest również węzłem (ang. *node*).

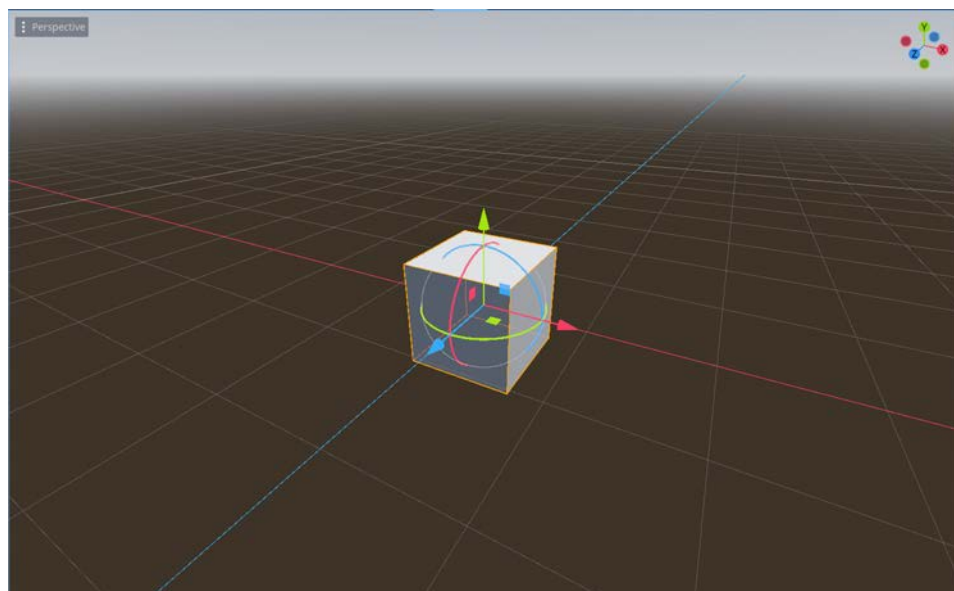
Umieszczane tam obiekty mogą być łatwo manipulowane (ryc. 4). Umożliwia to kontrolowanie na bieżąco widoku i stanu przestrzeni.

W silniku Godot Engine dzięki dodaniu części składowych odpowiedzialnych za ustawienia środowiska i światła (domyślnie odpowiednio `WorldEnvironment` i `DirectionalLight3D`) możliwe jest oglądanie danych obiektów po uruchomieniu



Ryc. 3. Domyślny widok programu i sceny w Godot Engine

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 4. Możliwość manipulowania obiektami w programie Godot Engine

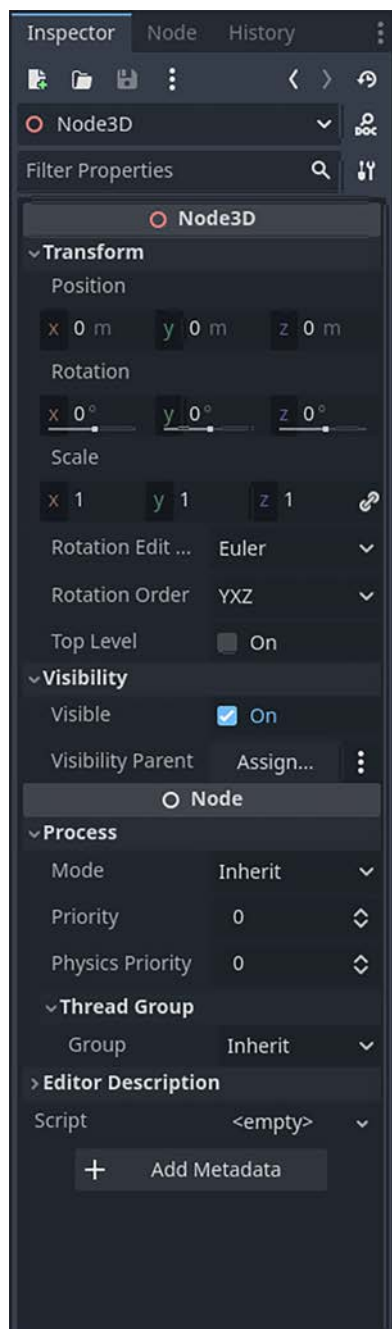
Źródło: opracowanie własne.

programu oraz manipulowanie parametrami tworzonego świata (takimi jak niebo, cienie i inne). To właśnie w tym miejscu możemy obserwować postępy oraz to, co będzie wyświetlone po włączeniu programu. W programie Godot Engine domyślnie po lewej stronie znajduje się panel, który umożliwia zarządzanie obiektami znajdującymi się w scenie oraz tworzeniem podgrup. Po prawej stronie w panelu Inspector możliwe jest ustawianie parametrów danego węzła (ryc. 5). Ten silnik umożliwia tworzenie zarówno w 2D, jak i w 3D, ale w związku z charakterystyką wirtualnych przestrzeni to ten drugi tryb będzie domyślny. Przydatną funkcją jest włączenie projektu (ang. Run project), co umożliwia odtworzenie projektu i jego przetestowanie bez konieczności eksportu.

5.2. Import modeli 3D

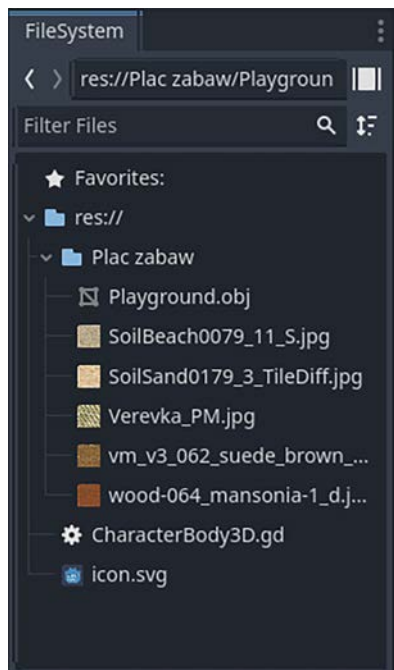
Do projektu można zaimportować pliki zewnętrzne, między innymi modele 3D pozyskane ze źródeł internetowych czy stworzone w innym oprogramowaniu do modelowania 3D. Silniki do tworzenia gier obsługują różne formaty plików, między innymi: OBJ, FBX, glTF. Zazwyczaj oferują możliwość kreowania podstawowych obiektów, a do bardziej złożonych wizualizacji niezbędne są dedykowane temu celowi edytory, np. Blender. W programie Godot Engine import jest możliwy po uprzednim umieszczeniu pliku w folderze projektu i przeciągnięciu go do sceny (ryc. 6). Import modeli 3D umożliwia korzystanie z silnika gier do takich zastosowań, jak rekonstrukcja 3D obiektów, badania prowadzone w środowiskach wirtualnych odwzorowujących przestrzeń rzeczywistą i inne (Halik, Kent, 2021; Zawadzki, Medyńska-Gulij, 2024). Należy zwrócić uwagę, aby model był wyeksportowany w formacie zgodnym z danym silnikiem.

W stworzonej na potrzeby tego artykułu wirtualnej przestrzeni w silniku Godot



Ryc. 5. Okno Inspector w Godot Engine, które umożliwia zmianę parametrów danego obiektu

Źródło: opracowanie własne.



Ryc. 6. Lista plików w folderze projektu, skąd można je zaimportować

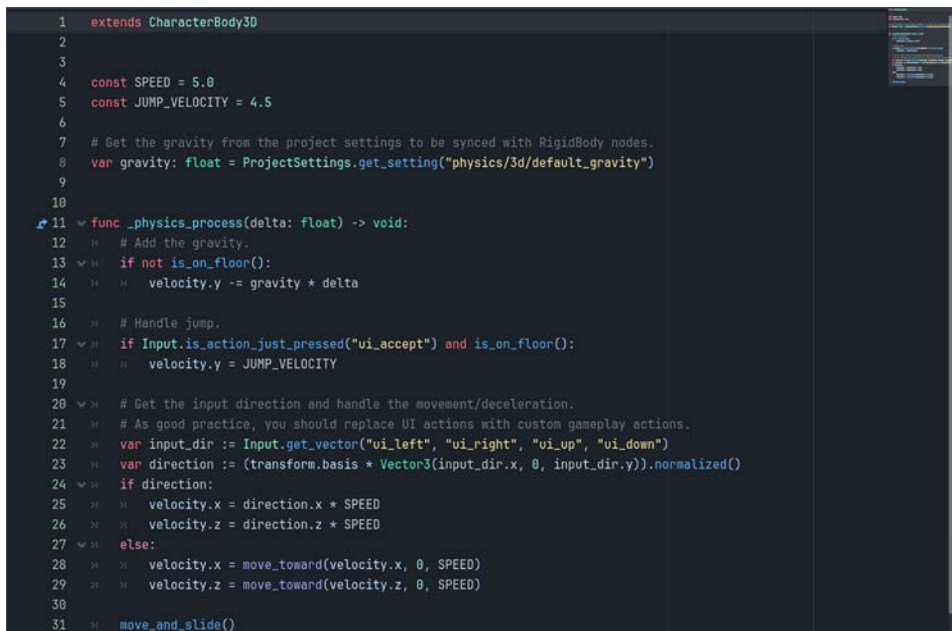
Źródło: opracowanie własne.

Engine zostały wykorzystane modele 3D przygotowane wcześniej i obrobione w oprogramowaniu Blender oraz zaczerpnięte z darmowych źródeł internetowych oferujących modele różnych obiektów. Były to głównie pliki w formatach OBJ i glTF. Skorzystanie z ogólnodostępnych źródeł ogranicza ilość niezbędnej pracy w innym oprogramowaniu. Po ich wczytaniu do sceny zostały one umiejscowione przestrzennie zgodnie ze stanem faktycznym w celu wiernego odwzorowania relacji przestrzennych. Dzięki temu, że budynki zostały scalone w programie Blender, po imporcie zachowały odpowiednie położenie.

5.3. Stworzenie postaci i zaprogramowanie mechanik

Implementacja kontrolowanego przez gracza awatara (postaci) umożliwia postrzeganie wirtualnej przestrzeni z punktu widzenia odwzorowującego naturalną, ludzką perspektywę (Hruby i in., 2020). Dodatkowo daje możliwość interakcji z nią. Aby owa postać

mogła dostrzec przestrzeń, należy ją utworzyć i umiejscowić w jej ramach, napisać skrypt jej mechanik, aby mogła się poruszać oraz podejmować różne czynności, a także dodać kamerę, stanowiącą jej widok na wirtualny świat. W ustawieniach kamery można dostosować takie parametry, jak: FOV (pole widzenia), odległość maksymalna oraz minimalna, z której będą widziane obiekty, a także rodzaj projekcji. Każdy obiekt może mieć przypisany skrypt, który będzie odpowiadał za jego działanie. Równolegle niezbędne jest dodanie fizyki obiektów do elementów przestrzeni i nazywanych z języka angielskiego *collider* bądź *collision shape* (CollisionShape3D w silniku Godot Engine). Dzięki temu ustala się miejsca i geometrię stanowiącą blokadę dla postaci, aby nie spadła z ziemi czy nie przenikała przez obiekty, takie jak budynki. Powoduje to zachodzenie interakcji pomiędzy awatarem a środowiskiem, co odwzorowuje procesy świata rzeczywistego. Odpowiednie ustawienie takich czynników, jak prędkość poruszania się, pole widzenia czy możliwość otwarcia drzwi, wpływa na poziom immersji. Tworzenie mechaniki gry opiera się głównie na pisaniu kodu w języku, który jest obsługiwany przez dany silnik (ryc. 7). Są również silniki gier, takie jak Godot Engine, które oferują własny język skryptowy (w tym przypadku GDScript). Wykorzystywanie wirtualnych środowisk może wiązać się z koniecznością wykonywania określonych zadań i czynności, np. zmianami scen na inne po dojściu do określonego



```

1 extends CharacterBody3D
2
3
4 const SPEED = 5.0
5 const JUMP_VELOCITY = 4.5
6
7 # Get the gravity from the project settings to be synced with RigidBody nodes.
8 var gravity: float = ProjectSettings.get_setting("physics/3d/default_gravity")
9
10
11 func _physics_process(delta: float) -> void:
12     # Add the gravity.
13     if not is_on_floor():
14         velocity.y -= gravity * delta
15
16     # Handle jump.
17     if Input.is_action_just_pressed("ui_accept") and is_on_floor():
18         velocity.y = JUMP_VELOCITY
19
20     # Get the input direction and handle the movement/deceleration.
21     # As good practice, you should replace UI actions with custom gameplay actions.
22     var input_dir := Input.get_vector("ui_left", "ui_right", "ui_up", "ui_down")
23     var direction := (transform.basis * Vector3(input_dir.x, 0, input_dir.y)).normalized()
24     if direction:
25         velocity.x = direction.x * SPEED
26         velocity.z = direction.z * SPEED
27     else:
28         velocity.x = move_toward(velocity.x, 0, SPEED)
29         velocity.z = move_toward(velocity.z, 0, SPEED)
30
31     move_and_slide()

```

Ryc. 7. Przykładowy widok edytora skryptu w programie Godot Engine prezentujący domyślny skrypt dla poruszania się postaci

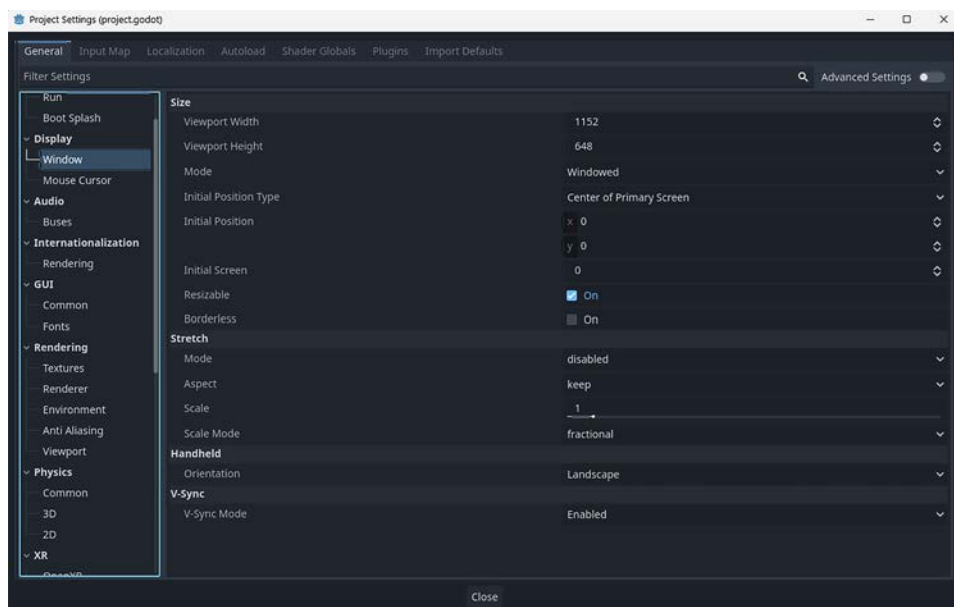
Źródło: opracowanie własne.

miejsca czy wchodzeniem do budynków. To wszystko jest możliwe dzięki zaprojektowaniu mechanik poprzez kodowanie.

W zaproponowanym przykładzie w silniku Godot Engine prędkość postaci została ustawiona na 8 wirtualnych km/h. Widok z kamery był pierwszoosobowy. Dodatkowymi akcjami, jakie mogła wykonywać postać, było otwieranie widoku mapy za pomocą klawisza M.

5.4. Optymalizacja i eksport

Etapem końcowym tworzenia wirtualnej przestrzeni jest optymalizacja projektu i jego eksport. Jeżeli przestrzeń jest duża oraz znajduje się w niej wiele obiektów o skomplikowanej geometrii, może wystąpić potrzeba optymalizacji, kiedy występować będą problemy techniczne związane z brakiem płynności działania programu, z ładowaniem czy inne błędy. Wpływ na duże zużycie zasobów może mieć liczba obiektów, ich jakość, geometria figur odpowiedzialnych za wykrywanie kolizji postaci z obiektem, jakość skryptu, występowanie cieni oraz wiele innych. Jest to system naczyń połączonych i różne czynniki mogą mieć wpływ na szybkość działania programu. Warto również przeglądnąć oraz dostosować ustawienia projektu (ryc. 8), tak aby ustawić odpowiednią rozdzielczość, tryb wyświetlania (pełnoekranowy, w oknie itp.), odpowiednie parametry renderowania czy interesującą nas jakość konkretnych elementów. Następnym krokiem jest wyeksportowanie projektu. Najczęściej spotykanym, a także używanym for-



Ryc. 8. Okno ustawień projektu w silniku Godot Engine

Źródło: opracowanie własne.

matem w systemie Windows są pliki EXE. Umożliwiają one wykonywanie skomplikowanego kodu i uruchomienie programu. Możliwy jest również export w formacie WebGL, co pozwala na wykorzystywanie przeglądarki w celu odtwarzania. O ukończonym procesie można mówić wtedy, kiedy projekt jest gotowy do udostępnienia również innym osobom. Jest to docelowa forma, za pomocą której korzysta się z wirtualnej przestrzeni.

6. Podsumowanie

Symulowanie realnej przestrzeni w rzeczywistości wirtualnej umożliwia pozyskiwanie informacji przestrzennej (Richardson i in., 1999). Doświadczenie wytworzone przez środowisko wirtualne jest bardzo podobne do doświadczenia wytwarzanego przez kontakt z prawdziwym środowiskiem (Baños i in., 2004; Waterworth, Riva, 2014). Dzięki temu wirtualne przestrzenie mogą efektywnie służyć do takich celów, jak odwzorowywanie prawdziwych obiektów (Soto-Martin i in., 2020), badania dotyczące zachowania użytkowników (Pastel i in., 2021), czy wielu innych, ponieważ nie jest to zbiór zamknięty. Przeszkodą może być jednak fakt, że stworzenie wysokiej jakości oraz dokładnie odwzorowującego relacje przestrzenne środowiska wirtualnego wiąże się z wysokimi kosztami (Pérez i in., 2013). Wpływa to na trudność w uzyskaniu realizmu oraz immersji, co może przełożyć się na wyniki badań. Już Nash i in. (2000) zauważyli, że istnieje dodatkowo wpływ bodźców ze świata rzeczywistego, który może negatywnie oddziaływać na poczucie obecności w świecie wirtualnym. Ponadto Walas (2023)

ostrzega przed możliwością zaprojektowania świata, który nie odpowiada całkowicie rzeczywistości, a w którym takie czynniki, jak prawa fizyki, zaprojektowane mechaniki czy zniekształcenie czasu, oddziałują na jego odbiór. W związku z tym konieczne jest zachowanie świadomości ograniczeń tych narzędzi podczas korzystania z nich, uwzględniając możliwe zniekształcenie rezultatów badania.

W niniejszym artykule została zaprezentowana metodologia tworzenia wirtualnej przestrzeni przy użyciu ogólnodostępnych danych przestrzennych. Obniża to próg wejścia oraz koszty, ponieważ nie są potrzebne metody geodezyjne pozyskania danych, wystarczy jedynie skorzystać z darmowych źródeł, które oferują zadowalającą jakość pod względem zachowania relacji przestrzennych. Przedstawiono ogólny schemat postępowania, a także konkretną jego aplikację za pomocą wybranych programów: Godot Engine oraz Blender. Co ważne, przedstawiony proces nie musi ograniczać się do wymienionego oprogramowania, ponieważ istnieje wiele innych możliwości spośród silników do tworzenia gier, między innymi: Unity, Unreal Engine oraz wśród programów do modelowania 3D: SketchUp, Tinkercad i inne. Uniwersalność metodologii umożliwia dobranie narzędzi według własnych preferencji. Atutem jest stworzenie wirtualnej przestrzeni w sposób przystępny, ponieważ dzięki wykorzystaniu ogólnodostępnych danych proces ręcznego modelowania 3D jest w maksymalny sposób ograniczony, a wierność odwzorowania relacji przestrzennych jest zachowana. W przygotowanym na potrzeby niniejszego artykułu przykładzie udało się uzyskać środowisko wirtualne, które wiernie oddaje położenie obiektów oraz stwarza możliwość eksploracji przestrzeni przez użytkownika za pomocą awatara. Istnieje dalej możliwość jego udoskonalania pod kątem graficznym oraz mechanik, ale uzyskany wynik pozwala na odpowiednie zachowanie współrzędnych budynków.

Autorzy tego artykułu mają nadzieję, że zaproponowana metodologia zostanie w przyszłości rozwinięta o nowe etapy, które mogą poprawić jakość finalnego produktu. Cenne byłoby wykorzystanie jej w innym oprogramowaniu oraz porównanie uzyskanych rezultatów. Zastosowanie zaprezentowanych rozwiązań z użyciem innych danych dałoby wgląd w ocenę ich możliwości oraz stworzyłoby podwaliny pod nowe sposoby ich wykorzystania. Ponadto ocenienie stworzonej w ten sposób wirtualnej przestrzeni w testach użyteczności pozwoliłoby na uzyskanie wartościowych wniosków dotyczących jej odbioru oraz wrażeń użytkowników. Warto zauważyć, że istnieją również inne ogólnodostępne źródła danych geoprzestrzennych, takie jak Geoportal Krajowy, baza danych obiektów topograficznych BDOT10k czy numeryczne modele terenu. Połączenie numerycznego modelu terenu oraz danych dotyczących budynków mogłoby pomóc stworzyć wierne, pod kątem topograficznym, odwzorowanie przestrzeni. Prezentowana metodologia stanowi punkt wyjścia dla jej rozwoju w kolejnych pracach. Należy również podkreślić jej uniwersalność ze względu na możliwość odtworzenia każdego kawałka środowiska rzeczywistego, chociaż specyfika danego terenu może utrudniać realizację jego cyfrowej wersji. Przydatność metodologii w badaniach dotyczących postrzegania wirtualnej przestrzeni przez użytkowników czy rekonstrukcji 3D budowli ma szansę być wysoka. Dane fotogrametryczne oraz geodezyjne mogą zastąpić te pozyskane z serwisów internetowych, dzięki czemu

modele 3D są w stanie osiągać wysokie rozdzielczości i dokładności odwzorowania. Jest to również rozwiązanie, które umożliwia stworzenie wirtualnej przestrzeni w wypadku, w którym brakuje ogólnodostępnych danych dla określonego obszaru. Rozwój technologii oraz branży gier wideo wpłynie pozytywnie na możliwości oprogramowania, a także wzrost mocy obliczeniowej komputerów, co może się wiązać z ciągle pojawiającymi się ulepszeniami już istniejących rozwiązań, a zapewne też stworzeniem zupełnie nowej alternatywy. Dlatego cenne byłoby regularne dokonywanie rewizji aktualnego stanu rzeczy i dostosowywanie metodologii adekwatnie do nowych realiów oraz zasobów.

Literatura

- Anders M., Zwirowicz-Rutkowska A., 2017, Rozważania nad wykorzystaniem standardów modelowania obiektów 3D w systemach wirtualnej rzeczywistości, *Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej Roczniki Geomatyki*, 1(76): 7–14
- Baños R.M., Botella C., Alcañiz M., Liaño V., Guerrero B., Rey B., 2004, Immersion and emotion: their impact on the sense of presence, *CyberPsychology & Behavior*, 7(6): 734–741, <https://doi.org/10.1089/cpb.2004.7.734>
- Batty M., 2018, *Inventing Future Cities*, MIT Press.
- Bradfield C., 2018, *Godot Engine Game Development projects: Build five cross-platform 2D and 3D games with Godot 3.0*, Packt Publishing Ltd.
- Clay V., König P., König S.U., 2019, Eye tracking in virtual reality, *Journal of Eye Movement Research*, 12(1), <https://doi.org/10.16910/jemr.12.1.3>
- Darken R.P., Banker W.P., 1998, Navigating in natural environments: A virtual environment training transfer study, [w:] *Proceedings. IEEE 1998 Virtual Reality Annual International Symposium* (Cat. No. 98CB36180), IEEE, s. 12–19.
- Ebert D.S., Musgrave F.K., Peachey D., Perlin K., Worley S., 2002, *Texturing & Modeling: A Procedural Approach*, Morgan Kaufmann.
- Fumarola M., Poelman R., 2011, Generating virtual environments of real world facilities: Discussing four different approaches, *Automation in Construction*, 20(3): 263–269, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.08.004>
- Garland M., Heckbert P.S., 1997, Surface simplification using quadric error metrics, [w:] *Proceedings of SIGGRAPH*, s. 209–216.
- Geng J., 2011, Structured-light 3D surface imaging: A tutorial, *Advances in Optics and Photonics*, 3(2): 128–160.
- Goodchild M.F., 2009, Geographic information systems and science: Today and tomorrow, *Annals of GIS*, 15(1): 3–9.
- Halik Ł., Kent A.J., 2021, Measuring user preferences and behaviour in a topographic immersive virtual environment (TopoIVE) of 2D and 3D urban topographic data, *International Journal of Digital Earth*, 14(12): 1835–1867.
- Horbiński T., Zagata K., 2022, View of cartography in video games: Literature review and examples of specific solutions, *KN J. Cartogr. Geogr. Inf.*, 72(2): 117–128, <https://doi.org/10.1007/s42489-022-00104-8>
- Hruby F., Sánchez L.F.Á., Ressel R., Escobar-Briones E.G., 2020, An Empirical Study on Spatial Presence in Immersive Geo-Environments, *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(2): 155–163, <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00107-y>

- Kisiel P., 2020, Projektowanie modeli trójwymiarowych w szkole średniej z użyciem oprogramowania open source Blender.
- Laver K., George S., Thomas S., Deutsch J.E., Crotty M., 2017, Virtual reality for stroke rehabilitation, *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 11, CD008349.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., 2015, *Geographic Information Science and Systems*, John Wiley & Sons.
- Milgram P., Kishino F., 1994, A taxonomy of mixed reality visual displays, *IEICE Transactions on Information and Systems*, 77(12): 1321–1329.
- Montello D.R., Hegarty M., Richardson A.E., Waller D., 2004, Spatial Memory of Real Environments, *Virtual Environments, and Maps*, [w:] G.L. Allen (red.), *Human spatial memory: Remembering where*, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, s. 251–285.
- Mortenson M.E., 2006, *Geometric modeling*, Industrial Press Inc.
- Nash E.B., Edwards G.W., Thompson J.A., Barfield W., 2000, A review of presence and performance in virtual environments, *International Journal of Human-Computer Interaction*, 12(1): 1–41.
- Nee A.Y.C., Ong S.K., Chryssolouris G., Mourtzis D., 2012, Augmented reality applications in design and manufacturing, *CIRP Annals*, 61(2): 657–679.
- Pastel S., Chen C.H., Bürger D., Naujoks M., Martin L.F., Petri K., Witte K., 2021, Spatial orientation in virtual environment compared to real-world, *Journal of Motor Behavior*, 53(6): 693–706.
- Pérez M., Agüera F., Carvajal F., 2013, Low cost surveying using an unmanned aerial vehicle, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 50 (<https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-1-W2/311/2013/>).
- Pharr M., Jakob W., Humphreys G., 2016, *Physically Based Rendering: From Theory to Implementation*, Morgan Kaufmann.
- Richardson A.E., Montello D.R., Hegarty M., 1999, Spatial knowledge acquisition from maps and from navigation in real and virtual environments, *Memory & Cognition*, 27(4): 741–750, <https://doi.org/10.3758/BF03211566>
- Rossi G., Tanteri L., Tofani V., Vannocci P., Moretti S., Casagli N., 2018, Multitemporal UAV surveys for landslide mapping and characterization, *Landslides*, 15: 1045–1052, <https://doi.org/10.1007/s10346-018-0978-0>
- Smaczyński M., Horbiński T., 2020, 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. <https://doi.org/10.1007/s42489-020-00061-0>
- Soto-Martin O., Fuentes-Porto A., Martin-Gutierrez J., 2020, A digital reconstruction of a historical building and virtual reintegration of mural paintings to create an interactive and immersive experience in virtual reality, *Applied Sciences*, 10(2): 597.
- Thorn A., 2011, *Game engine design and implementation*, Jones & Bartlett Publishers.
- Walas A., 2023, *Wirtualna rzeczywistość jako narzędzie badacza społecznego*.
- Waterworth J., Riva G., 2014, *Feeling Present in the Physical World and in Computer-Mediated Environments*, Palgrave Macmillan UK eBooks, <https://doi.org/10.1057/9781137431677>
- Zawadzki J., Medyńska-Gulij B., 2024, Landscape Reconstruction with Earth-and-Timber Medieval Stronghold – Immersive Geovisualization, *Land*, 13(8): 1323.
- Zlatanova S., Holweg D., Coors V., 2013, 3D geo-information supporting urban disaster management, *Urban and Regional Data Management: UDMS Annual 2013*, s. 119–128.

Dotychczasowe tytuły Geoprzestrzeni:

- 95 lat Studenckiego Koła Naukowego Geografów w Poznaniu (1923–2018) (Geoprzestrzeń I)
- Miasto i gmina Międzyzdroje – wybrane problemy (Geoprzestrzeń II)
- Środowisko przyrodnicze Polski – stan środowiska, ochrona, znaczenie turystyki (Geoprzestrzeń III)
- Środowisko geograficzne wybranych obszarów – stan środowiska, turystyka, edukacja, metody badań (Geoprzestrzeń IV)
- Fizycznogeograficzne, społeczne i edukacyjne badania środowiska przyrodniczego (Geoprzestrzeń V)
- Stulecie działalności Studenckiego Koła Naukowego Geografów im. Stanisława Pawłowskiego Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu – powstanie, przeszłość i teraźniejszość (Geoprzestrzeń VI)
- Kompleksowe badania środowiska geograficznego (Geoprzestrzeń VII)
- Wybrane metody badań środowiska geograficznego Polski (Geoprzestrzeń VIII)