

**Stanisław Marek Halkiewicz**

e-mail: 184031@student.ue.wroc.pl

ORCID: 0009-0000-7344-7522

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

**Paweł Rychlicki**

e-mail: 184100@student.ue.wroc.pl

ORCID: 0009-0005-6267-6457

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

## Oczyszczanie wody, jej pobór i zużycie na terenach górniczych i pogórniczych: analiza przestrzenna powiatów województwa śląskiego

DOI: 10.15611/2024.76.5.09

JEL: C21, Q24, Q53, Q57, R12

© 2024 Stanisław Marek Halkiewicz, Paweł Rychlicki

Praca opublikowana na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0). Skrócona treść licencji na <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.pl>

**Cytuj jako:** Halkiewicz, S. M. i Rychlicki, P. (2024). Oczyszczanie wody, jej pobór i zużycie na terenach górniczych i pogórniczych: analiza przestrzenna powiatów województwa śląskiego. W: A. Stanimir (red.), *Współczesne problemy społeczno-ekonomiczne w ujęciu analitycznym* (s. 132-148). Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu.

**Streszczenie:** Przemysł wydobywczy w Polsce jest elementem strategicznych zasobów gospodarki, zapewniającym bezpieczeństwo ekonomiczne i energetyczne. Problem stanowić może jednak wodochłonność procesów wydobywczych, szczególnie w XXI wieku, kiedy to coraz więcej mówi się o kryzysie wodnym. W niniejszej pracy poruszono problem szeroko rozumianej gospodarki wodnej w powiatach województwa śląskiego, będącego zagłębiem górnictwa węglowego. Omówiono, jak podchodzi się do tego zagadnienia w literaturze. Następnie wykonano analizę autokorelacji wybranych zmiennych opisujących sposoby oszczędzania wody w powiatach w całej Polsce. Wykazano, że powiaty w województwie śląskim w porównaniu z resztą kraju wyróżniają się pod względem zużycia i poboru wody, ale również wykazują istotną korelację typu Low-Low i High-Low pod względem stopnia oczyszczania wody. Następnie dokonano analizy statystycznej zmiennych w powiatach województwa śląskiego. Wskazała ona, że obszary wydobywcze lub powydobywcze charakteryzują się wyraźnie niższym udziałem ścieków oczyszczonych oraz wyższym zużyciem i poborem wody na potrzeby przemysłowe. Oznacza to gorszą sytuację gospodarki wodnej dla obszarów związanych z górnictwem.

**Słowa kluczowe:** górnictwo, Śląsk, autokorelacja przestrzenna, gospodarka wodna, ekologia

## 1. Wstęp

W niniejszej pracy postanowiono podjąć temat stanu środowiska i jego ochrony na terenach objętych wpływami przemysłu wydobywczego lub o charakterze powydobywczym, ze szczególnym uwzględnieniem górnictwa węgla kamiennego. Celem analizy jest sprawdzenie, czy istnieje zależność między obecnością przemysłu wydobywczego – w perspektywie teraźniejszej lub historycznej – a:

- udziałem ścieków oczyszczonych w ściekach wymagających oczyszczenia,
- poborem wody na potrzeby przemysłu na km<sup>2</sup>,
- zużyciem wody na potrzeby przemysłu na km<sup>2</sup>.

Postawiono następujące pytania badawcze:

- Czy ośrodki przemysłu wydobywczego zużywają istotnie większe ilości wody niż powiaty, w których takie ośrodki nie są istotnym elementem charakterystyki? (T1)
- Czy ośrodki przemysłu wydobywczego wpływają na zwiększenie poboru wody w powiatach ościennych? (T2)
- Czy ośrodki przemysłu wydobywczego dążą do redukcji negatywnego oddziaływania na stan środowiska poprzez oczyszczanie ścieków przemysłowych? (T3)

Jako obszar, na którym przeprowadzona została analiza, wybrano województwo śląskie, a rok badania ustawiono na 2022. Było to motywowane dostępnością danych. Województwo śląskie jest powszechnie znane jako zagłębie przemysłu węglowego, czyli największej gałęzi przemysłu wydobywczego w Polsce.

### 1.1. Ochrona środowiska na terenach górniczych i pogórnich

Ochrona terenów górniczych w Polsce od dawna jest obiektem zainteresowań ustawodawców (Dekret z dnia 6 maja 1953 r.) i badaczy (Duży i in., 2018; Kowalik i in., 2001; Lipiński, 1979; Popiołek, 2009). W literaturze przedmiotu autorzy skupiają się najczęściej na zagadnieniach szkód górniczych związanych ze zniekształceniem terenu i zagrożeniami sejsmicznymi – zapobieganiu im (Gracia i in., 2023; Jian, 2020; Misa, 2015), ich wpływem na otoczenie (Pała, 2023), unormowaniami prawnymi (Lipiński, 1979; Mika i Kaszowska, 2015), oceną szkód (Deliormanli, 2012) czy metodami modelowania ryzyka (Kwiatkiewicz, 2010; Misa, 2015; Ścigała, 2008). Przemysł wydobywczy jednak stwarza zagrożenie ze względu nie tylko na ryzyko zapaści, ale również na eksploatację zasobów i zanieczyszczanie środowiska naturalnego, co stwarza poważne zagrożenie dla fauny i flory, ale również dla społeczności zamieszkującej tereny, dla której obecność przemysłu wydobywczego jest (lub była) czynnikiem istotnie kształtującym charakterystykę gospodarki środowiskowej. Badacze rozpoznają również ten problem, czego dowodzi już ponad ćwierćwieczny cykl corocznych konferencji poświęconych ochronie środowiska na terenach górniczych i pogórnich (Duży i in., 2018). Wybrane problemy ogólnej ochrony środowiska na terenach górniczych opisywał na przykład Strzałkowski (2007), a analizę dla konkretnego przypadku lokalnego przeprowadzali m.in. Dźwigoł i in. (2004), Nietrzeba-Marcinonis (2010) czy Saini i in. (2016).

## 2. Metodyka badania

### 2.1. Dobór zmiennych

Wśród czynników środowiskowych najbardziej narażonych na negatywne skutki eksploatacji górniczej znajdują się ścieki przemysłowe. W procesach górniczych używa się bardzo dużych ilości wody. Jest ona wykorzystywana przy wspomaganiu oczyszczania przekopów, chłodzeniu maszyn wydobywczych czy przy czynnościach sanitarnych (Lévy i in., 2006). Jednym z naturalnych następstw wodochłonności tych procesów jest drenaż naturalnych zasobów wody w okolicy (Adeeyo i in., 2023; Gunson i in., 2012;) ale również zanieczyszczenie, często metalami ciężkimi lub toksycznymi chemikaliami, co może prowadzić do wyjąławiania gleby i zamierania fauny i flory akwenów (Adeeyo i in., 2023). Przykłady negatywnego wpływu wodochłonności przemysłu wydobywczego na zasoby wody na zagłębiu górnośląskim opisują Kidawa i Molenda (2021). W swojej pracy autorzy ci poruszają temat degradacji zalewów na tamtym terenie, będącej bezpośrednim następstwem drenażu wody na potrzeby tamtejszych kopalni.

W drodze ku zielonemu górnictwu podejmowane są – we współpracy przedstawicieli praktyki i nauki – próby minimalizacji zużycia wody w procesach wydobywczych (Gunson i in., 2012; Miller i in., 2022), w tym opracowywania rozwiązań technologicznych (Araya i in., 2021; Firmani, 2024), lub też wprowadzenia cyrkularnej gospodarki wodnej w kopalniach (Miller i in., 2022; Hamraoui i in., 2024) czy też ponownego użycia wody, np. do irygacji pól uprawnych (Miller i in., 2022).

Wyżej wymienione techniki są przedmiotem badań lub eksperymentalnych wdrożeń. Najczęstszym sposobem utylizacji zanieczyszczonych wód pokopalnianych nadal pozostają te konwencjonalne – wypuszczenie do wód gruntowych lub naziemnych. Dlatego też jako metrykę ograniczenia zanieczyszczeń wodnych pochodzenia górniczego wyznaczono udział ścieków komunalnych i oczyszczonych w ściekach wymagających oczyszczenia. Jest to zmienna względna, wyrażona w procentach.

Jako miary wodochłonności przemysłu wydobywczego wybrano pobór i zużycie wody na potrzeby przemysłu na km<sup>2</sup>. Jak wspomniano wyżej, szkodliwość ekologiczna obszarów przemysłu wydobywczego objawia się nie tylko poprzez samo zanieczyszczenie wody, ale też poprzez wysokie jej zużycie, które powoduje drenaż pobliskich zbiorników naturalnych i sztucznych. W związku z tym kopalnie mogą prowadzić działania prośrodowiskowe dwojako. Oprócz oczyszczania zużytej wody, ośrodki te mogą ograniczać swoje zużycie. Pobór natomiast nie jest równoważny zużyciu, ponieważ często pobór odbywa się nie na terenie powiatu, w którym ośrodek przemysłowy się znajduje, a w powiatach sąsiadujących. Stąd można podejrzewać, że sam pobór wody nie będzie konkluzywny w odpowiedzi na pytania badawcze.

## 2.2. Autokorelacja przestrzenna

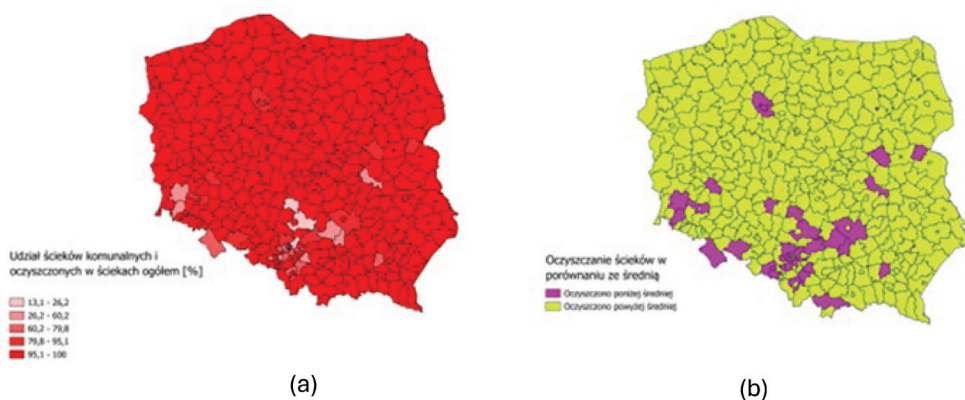
Autokorelacja przestrzenna to zjawisko występujące w danych przestrzennych, które polega na tym, że wartości obserwowane w jednym miejscu są skorelowane z wartościami w miejscach sąsiednich. Innymi słowy, jeśli dane w jednym obszarze mają tendencję do podobieństwa do danych w sąsiednich obszarach, to mówimy o występowaniu autokorelacji przestrzennej. Autokorelację nazywamy dodatnią (pozytywną), gdy w obszarach sąsiadujących wartości są do siebie podobne (wysokie koło wysokich, niskie obok niskich), lub ujemną (negatywną), gdy z obszarem o wysokich wartościach zmieniają się obszary o niskich wartościach (Cliff i Ord, 1981). Aby zbadać autokorelację przestrzenną, stosuje się różne metody, z których jedną z najpopularniejszych jest współczynnik autokorelacji przestrzennej. Jedną z podstawowych, a zarazem najbardziej znanych miar tego współczynnika jest indeks *I* Morana, który wykorzystuje odległości między obserwacjami oraz wartości obserwowane w tych miejscach (Jackson i in., 2010). Wyższe wartości bezwzględne indeksu Morana wskazują na silniejszą autokorelację przestrzenną. W lokalnej perspektywie możemy liczyć lokalne statystyki autokorelacji LISA (z ang. *Local Indicators of Spatial Association*), które pozwalają identyfikować lokalne skupiska podobieństw lub dyspersji w danych przestrzennych. Dzięki badaniu autokorelacji przestrzennej możliwe jest lepsze zrozumienie wzorców występujących w danych przestrzennych. Testowanie istotności statystycznej globalnej statystyki Morana odbywa się najczęściej za pomocą testów iteracyjnych (Xiong i in., 2019).

## 3. Analiza przestrzenna wybranych zjawisk dla Polski

### 3.1. Rozłożenie zjawisk w Polsce

Przed przystąpieniem do szczegółowego omówienia badanych zmiennych na terenie województwa śląskiego należy zbadać, jak omawiane zjawiska prezentują się dla całego kraju. Kartogram pokazany na rysunku 1a przedstawia rozkład udziału oczyszczanych ścieków komunalnych i przemysłowych w stosunku do całkowitej ilości ścieków do oczyszczenia [%]. Wyznaczenie klas odbyło się za pomocą metody podziału naturalnego Jenksa, polegającej na minimalizacji wariancji wewnątrz klas i maksymalizacji wariancji między klasami (Jiang, 2011). Wybrano ten sposób klasyfikacji ze względu na charakter zmiennej – bardzo duża część obserwacji ma zbliżone wartości oraz występują naturalne minimum i maksimum wartości (0 to minimum i 100 to maksimum). Użycie tej metody podziału pozwala na uniknięcie powstawania teoretycznych pustych klas dla obiektów o wartościach powyżej lub poniżej możliwych maksimum i minimum. Widać z rozkładu cechy, że zdecydowana większość powiatów w kraju należy do najwyższej klasy, w której między 95 a 100% ścieków jest oczyszczanych. W takim rozkładzie mocno wyróżniają się powiaty o najniższym procencie, znajdujące się w największej liczbie w województwie ślą-

skim. W najgorszej klasie znajdują się powiat częstochowski, będziński i pajęczański z łódzkiego. Jednak w województwie śląskim w porównaniu z całym krajem jest najwięcej powiatów z klas poniżej 80% oczyszczania ścieków. Na rysunku 1b zaprezentowano mapę z zaznaczonymi powiatami, w których oczyszczono mniejszy odsetek ścieków niż średnio w całym kraju. Zdecydowana większość takich powiatów znajduje się w południowej części kraju, z mocną koncentracją ponownie w województwie śląskim. Poniżej średniej wypadają również pojedyncze powiaty z województw dolnośląskiego, łódzkiego, małopolskiego, mazowieckiego i kujawsko-pomorskiego. W większości są to powiaty wokół dużych miast, gęstej aglomeracji lub na terenach, gdzie znajdują się zakłady przemysłowe lub kopalnie.



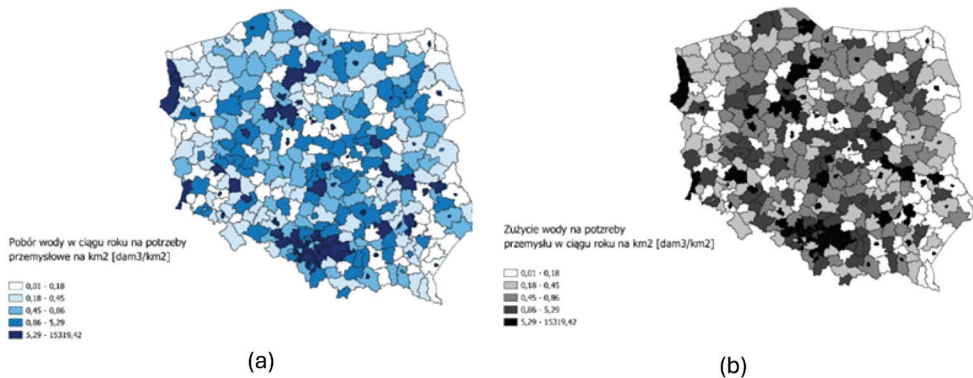
**Rys. 1.** Udział ścieków komunalnych i oczyszczonych w ściekach ogółem [%]:

(a) jako wartości indywidualne; (b) w porównaniu ze średnią w Polsce

Źródło: Bank Danych Lokalnych (BDL), obliczenia wykonane za pomocą programu QGIS.

Dla dwóch pozostałych zmiennych wyznaczono klasy według kryterium kwantylowego. Przyjęto równe rozpiętości wartości kwantyli. O takim wyborze podziału klas zdecydował rozkład wartości dla obu zmiennych, obie mają szeroki rozstęp wartości przyjmowanych dla obserwacji. Jednocześnie to podejście pozwala uniknąć tworzenia klas pustych pomiędzy klasami z obserwacjami oraz niweluje powstawanie klas jedno- lub kilkuelementowych z obserwacjami o najbardziej skrajnych wartościach. Rysunki 2a i 2b przedstawiają odpowiednio kartogram dla poboru rocznego wody w  $\frac{dam^3}{km^2}$  i zużycia rocznego wody wyrażonego również w  $\frac{dam^3}{km^2}$ .

Porównanie rysunków 2a i 2b wskazuje, że więcej powiatów charakteryzuje się ponadprzeciętnym zużyciem wody, a ponadprzeciętnym poborem. Wynika to zapewne z tego, że występują powiaty o bardzo niskim własnym poborze, które sprowadzają wodę z powiatów sąsiadujących, co potwierdzają powiaty o niskim zużyciu i bardzo wysokim poborze. Przykładem tych pierwszą są powiat lubiński, miasto



**Rys. 2.** Kartogram z podziałem na powiaty przedstawiający: (a) pobór roczny wody w  $\frac{dam^3}{km^2}$ ; (b) zużycie roczne wody w  $\frac{dam^3}{km^2}$

Źródło: BDL, obliczenia wykonane za pomocą programu QGIS.

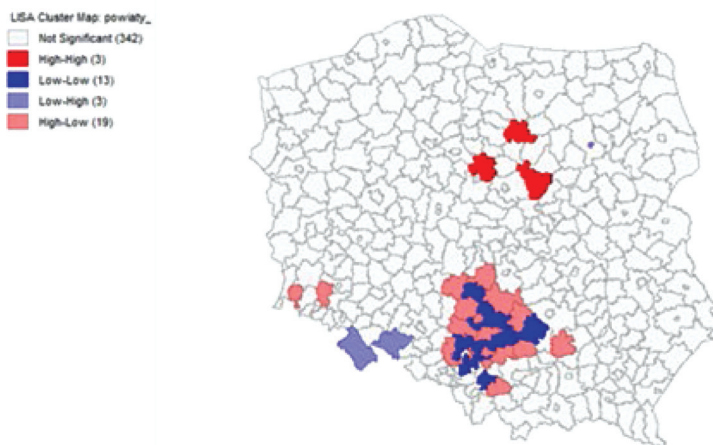
Dąbrowa Górnicza czy Jastrzębie-Zdrój – obszary związane z górnictwem i przemysłem. Natomiast przykładami powiatów z grupy o wysokim poborze i niskim zużyciu są np. Włocławek, powiat łódzki i Tarnów. Obszary o najwyższym poborze wody najęściej koncentrują się w województwach śląskim i małopolskim, mniejsze koncentracje występują na Kujawach, Pomorzu i w Zachodniopomorskim. Ogólnie obszary wschodnie charakteryzują się mniejszym poborem wody na potrzeby przemysłu. W przypadku zużycia także obserwuje się jeszcze mocniejszą koncentrację powiatów o wysokim zużyciu na Śląsku i w Małopolsce, gdzie występują licznie powiaty z najwyższych klas. W porównaniu do poboru przy zużyciu pojawiają się obszary koncentracji w centrum kraju, w województwach łódzkim i mazowieckim. Intensywniej również zużycie skupia się na Kujawach. Ponownie przede wszystkim wschodnia część kraju należy głównie do klas o najniższych wartościach.

### 3.2. Autokorelacja od udziału ścieków komunalnych i oczyszczonych w ściekach ogółem (w %)

W celu zbadania statystycznej prawidłowości przestrzennej obliczono współczynniki autokorelacji Morana globalne i lokalne dla każdej ze omawianych zmiennych. W tym celu na początek wyznaczono macierze wag przestrzennych między środkami geograficznymi sąsiadów, których ustalono metodą Queen. Zaczynając od udziału ścieków komunalnych i oczyszczonych w ściekach ogółem [%], otrzymano współczynnik  $I = 0,181$ , co sugeruje dodatnią autokorelację między sąsiadami – czyli sąsiedzi obiektu o wysokiej (niskiej) wartości zmiennej również przeciętnie mają wysoką (niską) jej wartość. Sprawdzenie istotności odbyło się z pomocą permutacyjnego testu istotności, według którego  $pseudo p = 0,0003$ . Informuje to o istotności

otrzymanej statystyki Morana, a zatem wśród powiatów występuje statystycznie istotna dodatnia korelacja przestrzenna dodatnia poziomu oczyszczonych ścieków.

Patrząc na statystyki lokalne o istotnym znaczeniu (przy poziomie istotności 0,05) (rys. 3), można stwierdzić, że największa koncentracja powiatów z istotnymi lokalnymi statystykami autokorelacji występuje na Śląsku i na granicy z województwami łódzkim oraz małopolskim.



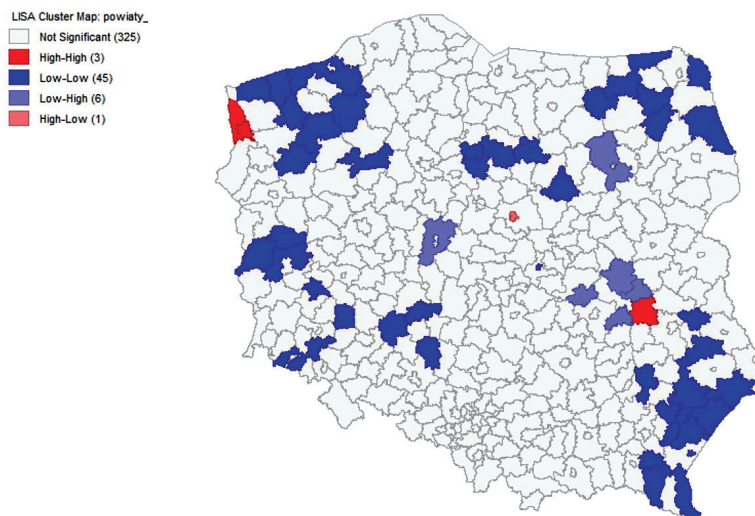
**Rys. 3.** Kartogram charakterystyki istotnych statystycznie autokorelacji lokalnych udziału ścieków oczyszczonych w ściekach ogólnie

Źródło: BDL, wizualizacje i obliczenia przeprowadzone za pomocą programu QGIS.

Na rysunku 3 można zauważyć, że w głównej mierze są to powiaty w grupie Low-Low, czyli o niskich własnych wartościach cechy i o średnio niskich u sąsiadów. Natomiast równie często na tym obszarze występują powiaty w grupie High-Low, które same mają wysokie wartości cechy, natomiast ich sąsiedzi średnio niskie. Występują pojedyncze powiaty o istotnej statystyce lokalnej w reszcie kraju, ale są to pojedyncze przypadki.

### 3.3. Autokorelacja poboru wody na potrzeby przemysłowe na km<sup>2</sup>

Analiza wskazała na bardzo bliską 0 wartość statystyki globalnej Morana, wynoszącą zaledwie  $-0,002$ . Sugeruje to autokorelację ujemną, jednak sama wielkość podaje w wątpliwość jej statystyczną istotność. Wątpliwości te potwierdza przeprowadzony test permutacyjny na istotność tej statystyki, wskazując *pseudo p* = 0,13, co przy przyjętym poziomie istotności 0,05 oznacza brak statystycznej istotności globalnej statystyki Morana – czyli występuje brak globalnej autokorelacji przestrzennej poboru wody na potrzeby przemysłowe.



**Rys. 4.** Kartogramy przedstawiające charakterystykę autokorelacji

Źródło: BDL, wizualizacje i obliczenia przeprowadzone za pomocą programu QGIS.

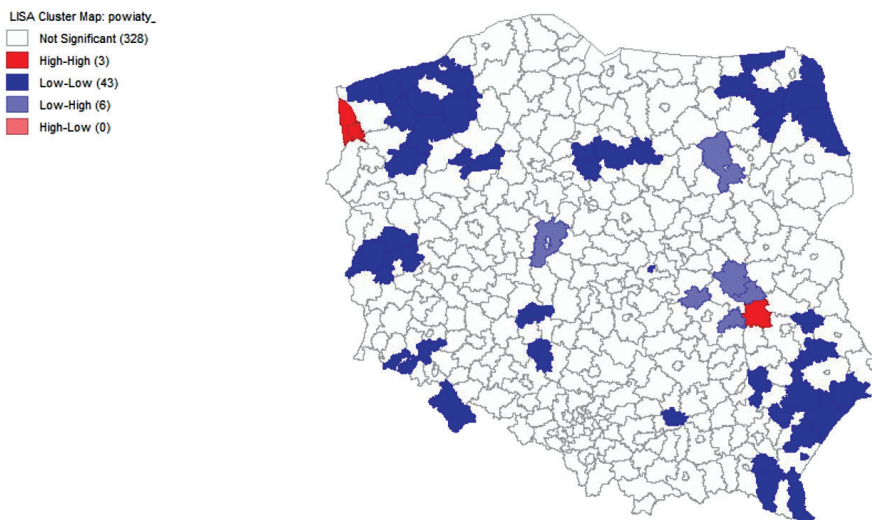
Analiza lokalnych statystyk autokorelacji przestrzennej wskazuje, że występują lokalnie istotne autokorelacje (rys. 4). Zdecydowanie najwięcej powiatów o istotnej lokalnej statystyce Morana trafia do grupy Low-Low, czyli o niskich własnych i niskich średnio wartościach cechy dla sąsiadów. Powiaty, w których taka zależność występuje, to głównie obszary na obrzeżach państwa, głównie południowo-wschodnia i północno-zachodnia część. W centralnej części kraju tylko pojedyncze powiaty okazują się mieć istotną statystycznie lokalną autokorelację przestrzenną. Występują pojedyncze powiaty o istotnych statystykach lokalnych, nienależące do klasy Low-Low. W większości należą wówczas do klasy Low-High, jednak nie koncentrują się w żadnej części kraju – wyjątek stanowią okolice powiatu ryckiego, gdzie występują 3 takie powiaty.

### 3.4. Autokorelacja zużycia wody na potrzeby przemysłowe na km<sup>2</sup>

Dla zużycia wody na potrzeby przemysłu wyniki analizy autokorelacji okazały się być podobne do wyników dla poboru. Statystyka globalna Morana  $I = -0,002$ , a odpowiadające *pseudo p* = 0,1297 – co ponownie oznacza brak istotności statystyki dla przyjętego alfa 0,05, zatem nie występuje przestrzenna autokorelacja dla zużycia wody na potrzeby przemysłowe w skali Polski.

Lokalnie odnotowuje się nieco większe zagęszczenie powiatów o istotnej statystyce lokalnej w północno-wschodniej i północno-zachodniej Polsce w porównaniu z rozkładem analogicznej statystyki dla poboru wody (rys. 5). Jednocześnie wiele





**Rys. 5.** Kartogramy przedstawiające: (a) istotność autokorelacji przestrzennej; (b) charakterystykę autokorelacji

Źródło: BDL, wizualizacje i obliczenia przeprowadzone za pomocą programu QGIS.

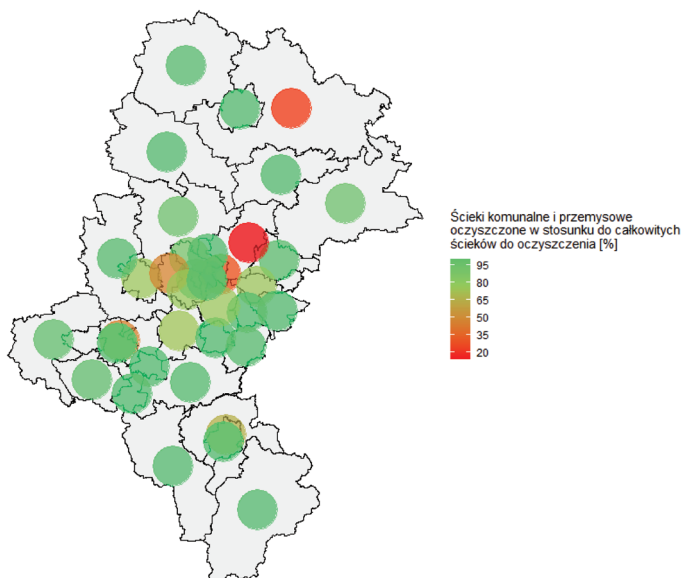
mniej powiatów ma statystycznie istotną autokorelację lokalną w zestawieniu z poborem. Ponownie – zdecydowana większość obiektów o istotnej statystyce trafia do klasy Low-Low; skoncentrowane są one się przy granicach państwa.

## 4. Szczegółowa analiza eksploracyjna zmiennych w województwie śląskim

### 4.1. Udział ścieków oczyszczonych w ściekach wymagających oczyszczenia [%]

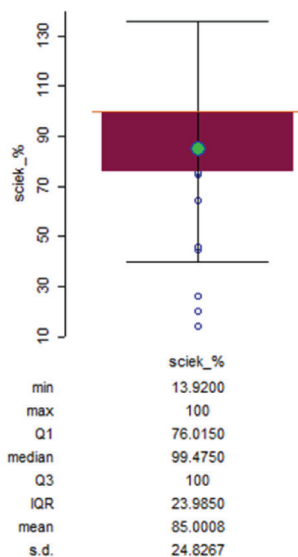
Chcąc zaprezentować rozkład analizowanych cech, posłużono się kartodiagramami. Dla poziomu oczyszczonych ścieków wykorzystano kartodiagram słupkowy (rys. 6), na którym widać, w jakich powiatach oczyszczono najmniejszy procent ścieków. Na rysunku 7 przedstawiono odpowiadający tej zmiennej wykres pudełkowy wraz ze statystykami opisowymi.

Mediana na poziomie 99,475% pozwala wnioskować, że większość z powiatów oczyszcza prawie wszystkie ścieki przemysłowe i komunalne, które tego wymagają. Średnia niższa od mediany wskazuje natomiast na asymetrię prawostronną rozkładu zmiennej. Asymetria ta powodowana jest przez obserwacje odstające. Są to powiaty częstochowski, będziński, rybnicki i miasta Siemianowice Śląskie oraz Zabrze. W tych powiatach oczyszczono poniżej 50% ścieków, a w będzińskim i częstochowskim



**Rys. 6.** Kartodiagram przedstawiający udział ścieków oczyszczonych w ściekach wymagających oczyszczenia (w %)

Źródło: BDL, obliczenia i wizualizacja wykonane w środowisku R.



**Rys. 7.** Wykres pudełkowy oraz statystyki opisowe dla zmiennej udziału ścieków oczyszczonych w ściekach wymagających oczyszczenia (w%)

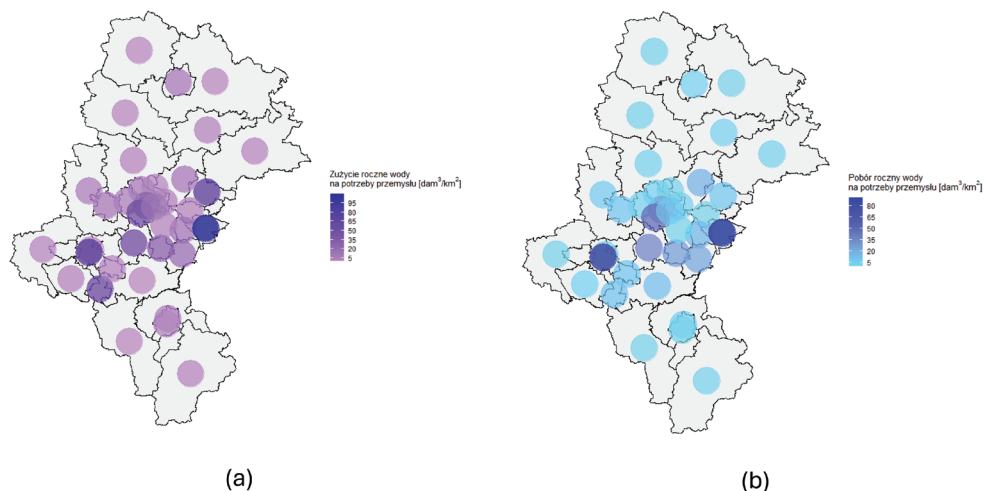
Źródło: BDL, obliczenia i wizualizacja wykonane za pomocą programu Geoda.

nawet poniżej 20%. Wskazuje to na bardzo słabe możliwości lokalnych oczyszczalni lub ścieki będące poza systemem kanalizacyjnym – na przykład pochodzenia przemysłowego, co może powodować wylewanie ścieków do wód lub wymuszać odprowadzanie ich do oczyszczenia w innym powiecie.

Warto zauważyć, że Siemianowice Śląskie (kopalnię zamknięto tam w latach dziewięćdziesiątych) mają na obrzeżach hutę oraz rozwinięty przemysł na potrzeby wojska. W Zabrzej jednak dawniej działało aż 10 kopalni, z czego do dzisiaj wydobycie prowadzi prywatna kopalnia SilTech, która wykorzystuje architekturę i tereny odkrywkowe wcześniejszych zabrzańskich kopalni. W powiecie rybnickim mieści się Rybnicki Okręg Węglowy. Teren Będzina i okolic również historycznie był miejscem ponad 12 zakładów kopalnianych. Dzisiaj na terenie powiatu będzińskiego działają zakłady wydobywcze dolomitu, piasku i żwiru. Również na terenie powiatu częstochowskiego działają zakłady piaskowe, chociaż historycznie i kulturowo nie należy ona do Śląska.

#### 4.2. Pobór i zużycie wody na potrzeby przemysłowe na km<sup>2</sup>

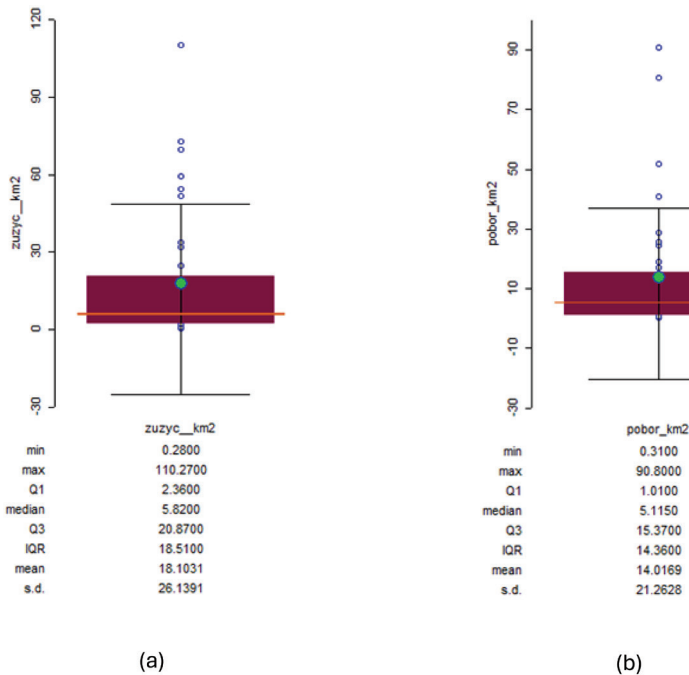
W celu wizualizacji rozkładu zmiennych dotyczących poboru i zużycia wody na potrzeby przemysłowe użyto kartodiagramów tekstowych, na których pokazano, ile wody zużyto (rys. 8a) lub pobrano (rys. 8b)  $\frac{dam^3}{km^2}$  w 2022 roku na potrzeby przemysłowe.



**Rys. 8.** Kartodiagram tekstowy przedstawiający: (a) zużycie wody na potrzeby przemysłu w  $\frac{dam^3}{km^2}$ ; (b) pobór wody na potrzeby przemysłu w  $\frac{dam^3}{km^2}$

Źródło: BDL, obliczenia i wizualizacje przeprowadzone w środowisku R.

Na rysunkach 9a i 9b przedstawiono wykresy pudełkowe dla omawianych zmiennych. W województwie śląskim przeważają powiaty o zużyciu od 0 do 16  $\frac{dam^3}{km^2}$  (26 powiatów). Różnice pomiędzy medianami dla obu zmiennych wskazują na skrajnie silną asymetrię lewostronną. Powodowana jest ona m.in. przez obecność wielu obserwacji – nie tylko odstających, ale i ekstremalnych. Jedną z nich stanowi miasto Rybnik, gdzie w 2022 roku zużyto 110,3  $\frac{dam^3}{km^2}$ . Rozkład poboru wody wygląda podobnie. Największym poborem, oprócz Rybnika, charakteryzuje się również powiat miasto Jaworzno, które kiedyś było miejscem poboru węgla z dużego kompleksu Kopalni Węgla Kamiennego Jaworzno, a więc można powiedzieć, że powiat miasto Jaworzno jest miastem o charakterze powydobywczym. Jak już wcześniej wspomniano, w Rybniku odbywa się wydobycie węgla kamiennego. Razem z okalającymi go mniejszymi miejscowościami i ośrodkami przemysłu wydobywczego miasto to tworzy Rybnicki Okręg Węglowy. Również Jaworzno jest prężnie działającym terenem górniczo-energetycznym. Działa tam Zakład Górniczo-Energetyczny „Sobieski” Jaworzno III, będący kompleksem pod zarządem spółki TAURON. Należy pamiętać, że obie z tych zmiennych są destymulantami.

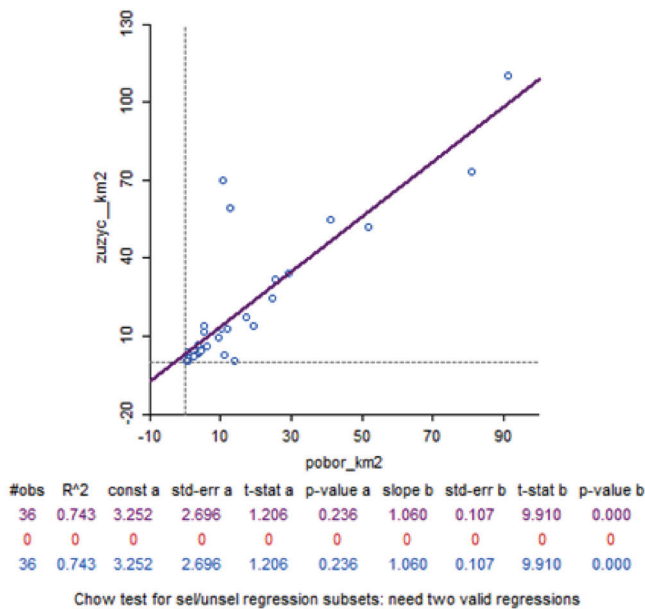


**Rys. 9.** Wykres pudełkowy przedstawiający rozkład zmiennej: (a) zużycie wody na potrzeby przemysłu w  $\frac{dam^3}{km^2}$ ; (b) pobór wody na potrzeby przemysłu w  $\frac{dam^3}{km^2}$

Źródło: BDL, obliczenia i wizualizacje przeprowadzone w programie Geoda.

### 4.3. Badanie korelacji poboru i zużycia wody na potrzeby przemysłu

Ocena wizualna pozwala na podejrzenia, że istotnie skorelowane są ze sobą zmienne opisujące pobór i zużycie wody na potrzeby przemysłowe w  $\frac{\text{dam}^3}{\text{km}^2}$ . Na rysunku 10 przedstawiono wykres rozrzutu dla tych zmiennych.



Rys. 10. Wykres rozrzutu z zaznaczoną dopasowaną prostą regresji

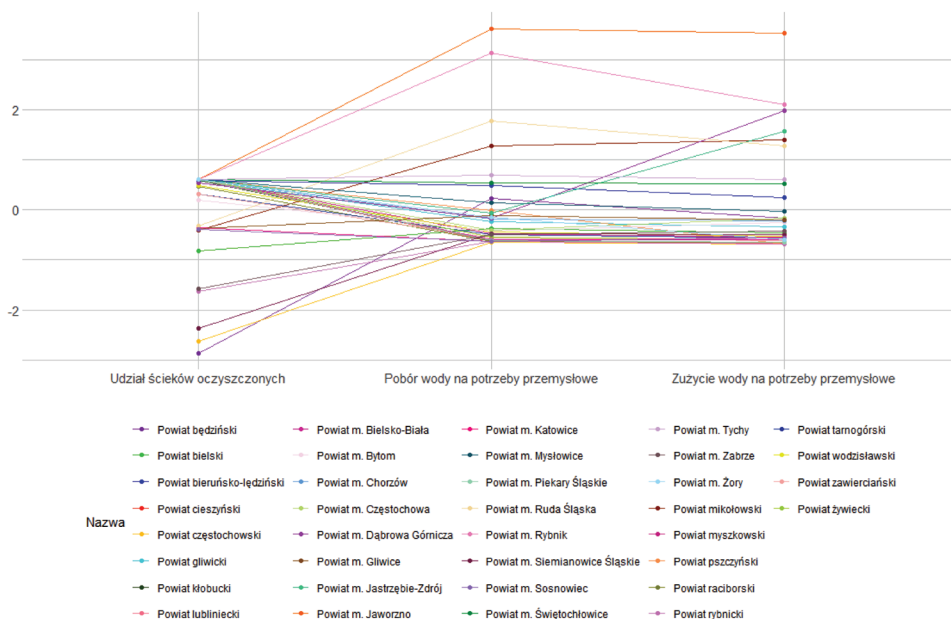
Źródło: BDL, obliczenia i wizualizacje przeprowadzone w programie Geoda.

Prosta regresji jest dobrze dopasowana (rys. 10), co ma silną podstawę merytoryczną, jako że pobór wody i jej zużycie idą w parze. Najbardziej interesującymi wnioskami z wykresu są obserwacje odstające – o stosunkowo wysokim zużyciu wody w stosunku do jej poboru. Są to dwa powiaty miejskie – Dąbrowa Górnicza oraz Jastrzębie-Zdrój. W obu przypadkach są to miasta o charakterze kopalnianym. Wykres ten potwierdza przypuszczenie zaproponowane w rozdziale 3, że kopalnie w tych miastach pobierają wodę z punktów poboru znajdujących się w powiatach ościennych.

### 4.4. Wykres zmiennych równoległych

Sporządzono wykres zmiennych równoległych w celu bliższego zbadania, czy powiaty o charakterze górniczym mają inną charakterystykę od pozostałych powiatów (rys. 11). Można wizualnie ocenić, że istnieją obserwacje, które nie podążają takim

samym schematem jak pozostałe powiaty. W większości obserwacji zmienna opisująca pobór wody (destymulanta) przyjmuje wartości stosunkowo niskie, dotycząca oczyszczania ścieków (stymulanta) stosunkowo wysokie, a opisująca zużycie wody (destymulanta) znowu stosunkowo niskie. Taką sytuację możemy opisać jako pożądaną, patrząc na charakterystykę zmiennych.



Rys. 11. Wykres zmiennych równoległych (dane standaryzowane)

Źródło: BDL, obliczenia i wizualizacje przeprowadzone w środowisku R.

Wśród anomalii najwyraźniej zarysowuje się powiat będziński, w którym pobór i zużycie są stosunkowo wysokie, a procent oczyszczonych ścieków stosunkowo niski. Jak wspomniano wcześniej, powiat będziński jest obszarem przemysłu wydobywczego. Do obserwacji mających wysoki zarówno pobór wody, jak i jego zużycie, ale przy jednoczesnym wysokim procencie oczyszczonych ścieków, można zaliczyć powiat miasto Jaworzno, powiat miasto Ruda Śląska i powiat miasto Rybnik. Ten ostatni przypadek jest szczególnie interesujący, gdyż jest tam wyraźnie niższe zużycie niż pobór wody. Może być to spowodowane tym, że kopalnie znajdujące się w różnych powiatach Rybnickiego Okręgu Węglowego pobierają wodę właśnie z sieci wodnej miasta Rybnik. Pozostałe z anomalii mają podobny pobór wody, jak również jej zużycie, co można wyjaśnić ich przemysłowo-miejskim charakterem.

## 5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przeprowadzone badanie udowadnia, że istnieje zależność między obecnością przemysłu wydobywczego a udziałami ścieków oczyszczonych w ściekach wymagających oczyszczenia. Wielokrotnie cecha ta okazywała się wyraźnie gorsza (niższa) dla obszarów o charakterystyce wydobywczej lub powydobywczej w porównaniu z powiatami niezwiązanymi z górnictwem. Przykładami takich obszarów są między innymi powiat miasto Jastrzębie-Zdrój, powiat będziński czy powiat rybnicki. Oznacza to negatywną odpowiedź na ostatnie z postawionych pytań badawczych (T3), mówiącej o dążeniu powiatów charakteryzujących się obecnością przemysłu górniczego do mitygacji swojego negatywnego wpływu na czystość wód. Relacja między obszarami wydobywczymi a poborem i zużyciem wody nie jest jednoznacznie widoczna dla wszystkich powiatów o charakterze górniczym, jednak można zauważyć, że jedne z najwyższych wartości tych zmiennych występują w powydobywczym Jaworznie oraz w Rybniku, będącym centrum Rybnickiego Okręgu Węglowego. Lokalne statystyki autokorelacji spektralnej sugerują brak takiej relacji. Z drugiej strony, patrząc tylko na wartości poboru i zużycia wody, można stwierdzić, że tereny wydobywcze znalazły się w zdecydowanej czołówce wielkości dla obu zmiennych. Ta niejednoznaczność sugeruje potrzebę przeprowadzenia badania inną metodą w celu dokładniejszej weryfikacji tej relacji. Jednocześnie można raczej odrzucić tezę (T2) o istotnym wpływie charakterystyki górniczej powiatów na zwiększenie poboru wody w powiatach ościennych.

Odpowiedziano twierdząco na pytanie badawcze o większym poborze i zużyciu wody na potrzeby przemysłowe w powiatach o wydobywczej lub powydobywczej charakterystyce (T1). Można to zaobserwować zarówno na kartogramach (rys. 2a i 2b), jak i na wykresie zmiennych równoległych na rysunku 11.

## Bibliografia

- Adeeyo, A. O., Bello, O. S., Agboola, O. S., Adeeyo, R. O., Oyetade, J. A., Alabi, M. A., Edokpayi, J. N. i Makungo, R. (2023). Recovery of Precious Metals from Processed Wastewater: Conventional Techniques Nexus Advanced and Pragmatic Alternatives. *Journal Of Water Reuse And Desalination*, 13(2), 134-161. <https://doi.org/10.2166/wrd.2023.068>
- Araya, N., Ramírez, Y., Cisternas, L. A. i Kraslawski, A. (2021). Use of Real Options to Enhance Water-energy Nexus in Mine Tailings Management. *Applied Energy*, 303(1), 117626. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117626>
- Cliff, A.D. i Ord, J. K. (1981). *Spatial Processes: Models & Applications*. Pion.
- Dekret z dnia 6 maja 1953 r. Prawo Górnicze (Dz. U. z 1978 r. Nr 4, poz. 12)
- Deliormanli, A. H. (2012). Assessment of Coal Mining Subsidence Damage in Soma-turkey Coalfield Using FEM. *Archives of Mining Sciences*, 57(1), 179-192. <https://doi.org/10.2478/v10267-012-0013-6>
- Dobrowolski, G., Lipiński, A., Mikosz, R. i Radecki, G. (2018). *Gospodarowanie geologicznymi zasobami środowiska w świetle zasady zrównoważonego rozwoju. Zagadnienia prawne*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego. <https://doi.org/10.31261/MG.2018.0001>

- Duży, S., Pluta, I., Sosna, A., Fuchs, R. i Kopiec, W. (2018). 25 Konferencji poświęconych ochronie środowiska na terenach górniczych i pogórnicych w Zachodnim Subregionie Województwa Śląskiego. W: S. Duży (red.), *Ochrona środowiska na terenach górniczych i pogórnicych kopalń w Subregionie Zachodnim Województwa Śląskiego* (XXV Konferencja Naukowo-Techniczna, s. 7-19). Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa. <https://omega.polsl.pl/info/article/PSL059adf829d8c43098ab9e4868fee8d6f/>
- Dźwigoł, H., Chudek, M. i Sapic'kij, K. F. (2004). *Ochrona środowiska w Górnośląskim i Donieckim Zagłębiu Węglowym*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. [https://www.researchgate.net/publication/344262710\\_Ochrona\\_srodowiska\\_w\\_Gornoslaskim\\_i\\_Donieckim\\_Zaglebiu\\_Weglowym](https://www.researchgate.net/publication/344262710_Ochrona_srodowiska_w_Gornoslaskim_i_Donieckim_Zaglebiu_Weglowym)
- Firmani, G. (2024). Software Development of an Integrated Water Management Optimisation Model: The Roy Hill Mine Case Study Application. *Mine Water and Environment*, 43(1), 41-52. <https://doi.org/10.1007/s10230-023-00967-x>
- Gunson, A. J., Klein, B., Veiga, M. i Dunbar, S. (2012). Reducing Mine Water Requirements. *Journal of Cleaner Production*, 21(1), 71-82. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.020>
- Gracia, A., Torrijo F. J., Garzón-Roca, J., Pérez-Picallo, M. i Alonso-Pandavenes, O. (2023). Identification and Mitigation of Subsidence and Collapse Hazards in Karstic Areas: A Case Study in Alcalá de Ebro (Spain). *Applied Sciences*, 13(9), 5687. <https://doi.org/10.3390/app13095687>
- Hamraoui, L., Bergani, A., Ettoumi, M., Aboulaich, A. Taha, Y., Khalil, A. Neculita, C. M. i Benzazoua, M. (2024). Towards a Circular Economy in the Mining Industry: Possible Solutions for Water Recovery through Advanced Mineral Tailings Dewatering. *Minerals*, 14(3), artykuł 319. <https://doi.org/10.3390/min14030319>
- Jackson, M. C., Huang, L., Xie, Q. i Tiwari, R. C. (2010). A Modified Version of Moran's I. *International Journal of Health Geographics*, 9(1), artykuł 33. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-9-33>
- Jian, Y. (2020). Solutions to Some Mine Subsidence Research Challenges [rozprawa doktorska, West Virginia University]. <https://researchrepository.wvu.edu/etd/7948>
- Jiang, B. (2011). *A New Classification Scheme for Data with a Heavy-tailed Distribution*. University of Galve.
- Kidawa, J. i Molenda, T. (2021). Degradation of Dam Reservoirs under the Influence of Mining Subsidence in Upper Silesian Coal Basin, South Poland. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 26, artykuł e12388. <https://doi.org/10.1111/lre.12388>
- Kowalik, S., Lis, M. i Lis, A. (2001). Ochrona oraz rekultywacja terenów górniczych na przykładzie Jastrzębskiej Spółki Węglowej S.A. (materiały pokonferencyjne VI Dni Miernictwa i Ochrony Terenów Górniczych, s. 211-218). Polski Komitet Międzynarodowego Towarzystwa Miernictwa Górniczego. [https://www.researchgate.net/publication/306012422\\_OCHRONA\\_ORAZ\\_REKULTYWACJA\\_TERENOW\\_GORNICZYCH\\_NA\\_PRZYKLADZIE\\_JASTRZEBSKIEJ\\_SPOLKI\\_WEGLOWEJ\\_SA](https://www.researchgate.net/publication/306012422_OCHRONA_ORAZ_REKULTYWACJA_TERENOW_GORNICZYCH_NA_PRZYKLADZIE_JASTRZEBSKIEJ_SPOLKI_WEGLOWEJ_SA)
- Kwiątek, J. (2010). Szkody górnicze w obiektach budowlanych jako zjawisko losowe. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, (4). [https://www.wug.gov.pl/wydawnictwa/miesiecznik\\_wug/212/1609](https://www.wug.gov.pl/wydawnictwa/miesiecznik_wug/212/1609)
- Lévy, V., Fabre, R., Boebel, B. i Hertle, C. (2006). Water Use in the Mining Industry – Threats and Opportunities. W: *Proceedings of Water in Mining 2006*. AIMM.
- Lipiński, A. (1979). Z problematyki prawnej ochrony terenów górniczych. *Prawne Problemy Górnictwa*, 3(1), 22-39. [https://bazhum.muzhp.pl/media/files/Prawne\\_Problemy\\_Gornictwa/Prawne\\_Problemy\\_Gornictwa-r1979-t3-s22-39/Prawne\\_Problemy\\_Gornictwa-r1979-t3-s22-39.pdf](https://bazhum.muzhp.pl/media/files/Prawne_Problemy_Gornictwa/Prawne_Problemy_Gornictwa-r1979-t3/Prawne_Problemy_Gornictwa-r1979-t3-s22-39/Prawne_Problemy_Gornictwa-r1979-t3-s22-39.pdf)
- Mika, W. i Kaszowska, O. (2015). Kryteria dopuszczania eksploatacji górniczej pod terenami zabudowanymi. *Przegląd Górniczy*, (3), 44-49. <https://bibliotekanauki.pl/articles/166576.pdf>
- Miller, K. D., Bentley, M. J., Ryan, J. N., Linden, K. G., Larison, C., Kienzle, B. A., Katz, L. E., Wilson, A. M., Cox, J. T., Kurup, P., van Allsburg, K. M., McCall, J., Macknick, J. E., Talmadge, M. S., Miara, A., Sitterley, K. A., Evans, A., Thirumaran, K., Malhotra, M. i Chellam, S. (2022). Mine Water Use,



- Treatment and Reuse in the United States: A Look at Current Industry Practices and Select Case Studies. *ACS ES&T Engineering*, 2(3), 391-408. <https://doi.org/10.1021/acsesteng.1c00244>
- Misa, R. (2015). *Metody ograniczenia wpływu eksploatacji podziemnej na obiekty budowlane poprzez zastosowanie rozwiązań geotechnicznych* [rozprawa doktorska, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszka w Krakowie]. Biblioteka Główna AGH. <https://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy2/11013/full11013.pdf>
- Nietrzeba-Marcinonis, J. (2010). Rekultywacja biologiczna gruntów pogórnich w PGE KWB Turów SA. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 34(4), 435-443. [https://journals.bg.agh.edu.pl/GORNICtwo/2010-04/GG\\_2010\\_4\\_32.pdf](https://journals.bg.agh.edu.pl/GORNICtwo/2010-04/GG_2010_4_32.pdf)
- Pala, P. (2023). *Wpływ deformacji powierzchni powstałych w wyniku działalności górnictwa węgla kamiennego na wartość gruntów przeznaczonych pod zabudowę na terenie górnośląskiego zagłębia węglowego* [rozprawa doktorska, Uniwersytet Śląski]. <https://fbc.pionier.net.pl/id/oai:www.sbc.org.pl:745456>
- Popiótek, E. (2009). *Ochrona terenów górniczych*. Wydawnictwo AGH.
- Saini, V., Gupta, R. P. i Arora, M. K. (2016). Environmental IMPACT STUDIES in Coalfields in India: A Case Study from Jharia Coal-Field. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53(1), 1222-1239. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.072>
- Strzałkowski, P. (2007). *Ochrona środowiska na terenach górniczych: wybrane problemy*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. <https://delibra.bg.polsl.pl/publication/81291>
- Ścigała, R. (2008). *Komputerowe wspomaganie prognozowania deformacji górotworu i powierzchni wywołanych podziemną eksploatacją górnictwem*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. <https://delibra.bg.polsl.pl/dlibra/doccontent?id=73592>
- Xiong, Y., Bingham, D., Braun, W. J. i Hu, X. J. (2019). Moran's I Statistic-Based Nonparametric Test with Spatio-Temporal Observations. *Journal of Nonparametric Statistics*, 31(1), 244-267. <https://doi.org/10.1080/10485252.2018.1550197>

## Water Treatment, Abstraction and Consumption in Mining and Post-mining Areas: Spatial Analysis of Counties in the Silesian Voivodeship

**Abstract:** The mining industry in Poland is a strategic resource that ensures both economic and energy security. However, the water intensity of mining processes can be a significant issue, particularly when one considers the growing discourse surrounding the impending water crisis that is expected to emerge in the 21st century. This paper will address the challenge of water management in the Silesian Voivodeship, which is a coal mining basin. The prevailing approaches to this challenge will be examined. Subsequently, an autocorrelation analysis of selected variables describing methods for water conservation will be conducted across Polish counties. The results will demonstrate that, in terms of water consumption and abstraction, the Silesian Voivodeship districts stand out among the rest of Poland. Furthermore, the Silesian Voivodeship counties will be observed to exhibit a notable degree of low-low and high-low correlation in terms of the degree of water purification. This will be followed by a statistical analysis of the variables in the districts in the Silesian Voivodeship. The analysis carried out indicated that mining or post-mining areas are characterised by a significantly lower proportion of treated wastewater and higher water consumption and abstraction for industrial purposes. This implies a worse water management situation for mining-related areas.

**Keywords:** mining, Silesia, spatial autocorrelation, water management, ecology