OCHRONA ZASOBÓW WODNYCH NA TERENACH REKREACYJNYCH W PRZESTRZENI MIEJSKIEJ

Marek Ruman, Dominika Dąbrowska, Wojciech Rykała

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk Przyrodniczych, Sosnowiec

STRESZCZENIE

Dostęp do terenów rekreacyjnych jest szczególnie istotny w kontekście poprawy jakości życia w miastach. Jednym z cennych elementów takich obszarów mogą być zbiorniki wodne i towarzyszące im źródła. Przykładem takiego terenu rekreacyjnego jest tzw. Pojezierze Palowickie (południowa Polska), na którym znajdują się trzy zbiorniki wodne, dziesięć stawów hodowlanych i dwa źródła, z których czerpie się wodę. Woda ze źródeł uznawana jest za bardzo dobrej jakości i regularnie piją ją mieszkańcy okolicznych miejscowości oraz turyści. Na jakość tych wód wpływają czynniki naturalne, takie jak wietrzenie skał, ewapotranspiracja, osadzanie się atmosferyczne, zmiany klimatyczne, ale także czynniki antropogeniczne, takie jak ścieki przemysłowe, działalność gospodarcza, ruch turystyczny i działalność rolnicza. Wyniki badań przeprowadzonych na terenie źródeł wskazują jednak na obecność w wodzie bakterii E. coli i enterokoków. Te ostatnie charakteryzują się dłuższą przeżywalnością w wodzie. Spożywanie takiej wody może prowadzić do rozwoju licznych chorób układu pokarmowego, stąd niezwykle istotna jest kwestia ochrony zasobów wodnych na terenach zurbanizowanych, w tym prowadzenie reprezentatywnego monitoringu jakości tych wód.
Słowa kluczowe: woda, źródło, jakość, bakteriologia, zdrowie człowieka, Polska.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2024 Vol. 86 Issue 1 pp. 51 – 26

ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2024-0005

Strony: 21, rysunki: 5, tabele: 1

page www of the periodical: www.phr.net.pl

Publisher
Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: przeglądowy

Termin nadesłania: 14.12.2023 r.
Termin zatwierdzenia do druku: 29.12.2023 r.

WSTĘP

Zrównoważony rozwój miast jest jednym z najpoważniejszych problemów XXI wieku [1]. Zagospodarowanie przestrzenne, w tym dostęp do terenów rekreacyjnych, jest ważnym elementem w kontekście oceny jakości życia na obszarach miejskich [2]. Wraz z upowszechnieniem się form rekreacji, takich jak wycieczki piesze czy rowerowe w obrębie miast i poza nimi, powszechnym zjawiskiem stało się wykorzystywanie pomników przyrody i techniki do celów rekreacyjnych [3,4,5].

Wraz ze wzrostem liczby turystów i postępującą urbanizacją na terenach rekreacyjnych pojawiają się problemy środowiskowe w postaci zanieczyszczenia gleby, wody, powietrza oraz problemów związanych z gospodarką odpadami [6,7,8,9]. Przyjmuje się, że jedynie 3% zasobów wodnych znajduje się w stanie naturalnym [10]. Jest to istotny problem powodujący niedobory wody i zwiększone zanieczyszczenie środowiska glebowo-wodnego. Co czwarte duże miasto (liczba mieszkańców > 750 000) cierpi na niedobór wody (stosunek zużycia wody do jej dostępności > 0,4; [11]). Woda jest największym produktem konsumpcyjnym, niezbędnym także dla rozwoju i organizacji miast [12]. Proces urbanizacji powoduje presję na zasoby wodne i zmienia reżimy hydrologiczne cieków [13]. Zasoby wodne miast należy stale wzmacniać poprzez prowadzenie racjonalnej gospodarki wodnej i rozwijanie dobrych praktyk w zakresie gospodarowania zasobami wodnymi [14]. Zrównoważony rozwój w kontekście utrzymania ilości i jakości zasobów wodnych w przestrzeni miejskiej jest przedmiotem licznych badań [15,16,17].

Wody powierzchniowe są jednym z głównych źródeł zaopatrzenia ludzi w wodę, a utrzymanie ich jakości ma ogromne znaczenie. Dodatkowo na obszarach deficytowych wykorzystuje się wody źródlane i podziemne [18,19]. Źródła zasługują na szczególną uwagę ze względu na element łączący ekosystemy wód powierzchniowych i podziemnych, które są szczególnie narażone na zanieczyszczenia [20,21]. Dotyczy to nie tylko obszarów krasowych [22], ale także terenów rekreacyjnych na obszarach miejskich [23].

Na wielkość zanieczyszczeń wód źródlanych wpływ może mieć ukształtowanie terenu, sposób zagospodarowania przestrzennego obszaru źródlanego, ale także wielkość opadów czy obecność pobliskiej sieci kanalizacyjnej [24,25,26]. Geneza zanieczyszczeń występujących w źródłach może znajdować się w zlewni wód powierzchniowych lub pochodzić ze źródeł zewnętrznych. Mobilizacja składników może nastąpić w obecności procesów takich jak desorpcja, mineralizacja, erozja i osuwiska oraz rozkład materii organicznej lub obieg składników odżywczych. Rekreacyjna funkcja źródeł może również prowadzić do wzrostu zanieczyszczeń. Dotyczy to nie tylko zanieczyszczeń nieorganicznych, ale także liczby mikroorganizmów. Chociaż woda źródlana może mieć pozytywny wpływ na zdrowie człowieka, zanieczyszczenia i złe warunki sanitarne mogą mieć negatywny wpływ na zdrowie, powodując liczne choroby układu trawiennego [27].

Źródła na terenach rekreacyjnych w przestrzeni miejskiej powinny podlegać monitoringowi jakości wody w celu określenia zmian wielkości parametrów fizykochemicznych i mikrobiologicznych oraz określenia czynników mogących powodować te zmiany. Na podstawie danych monitoringowych możliwa jest ocena ryzyka dla tych wód m.in. w oparciu o metody wskaźnikowe [28,29]. Jednym z przykładów takich wskaźników jest Wskaźnik Jakości Wody (WQI), który opiera się tylko na kilku parametrach.

Skala tego wskaźnika polega na przypisywaniu wag różnym parametrom jakości wody w oparciu o ich wartości dopuszczalne dla wody pitnej [30]. Jako wartości referencyjne można również przyjąć górną granicę naturalnego tła hydrogeochemicznego lub wartości jednej z klas jakości wody określone w odpowiednich przepisach. Osobną kwestią są parametry bakteriologiczne, które można porównać z normami dla wody pitnej.

Badania przeprowadzono w wodach dwóch źródeł (nazwy: Dobro Woda, Święto Woda) znajdujących się na obszarze miejskim Pojezierza Palowickiego (południowa Polska). Badania przeprowadzono w dwóch seriach pomiarowych w listopadzie 2023 r. i lutym 2024 r. Wyniki badań wskazują, że pomimo tego, że woda ze źródeł jest regularnie spożywana przez mieszkańców i turystów, zawiera ona bakterie, które mogą niekorzystnie wpływać na układ trawienny i stanowić zagrożenie.

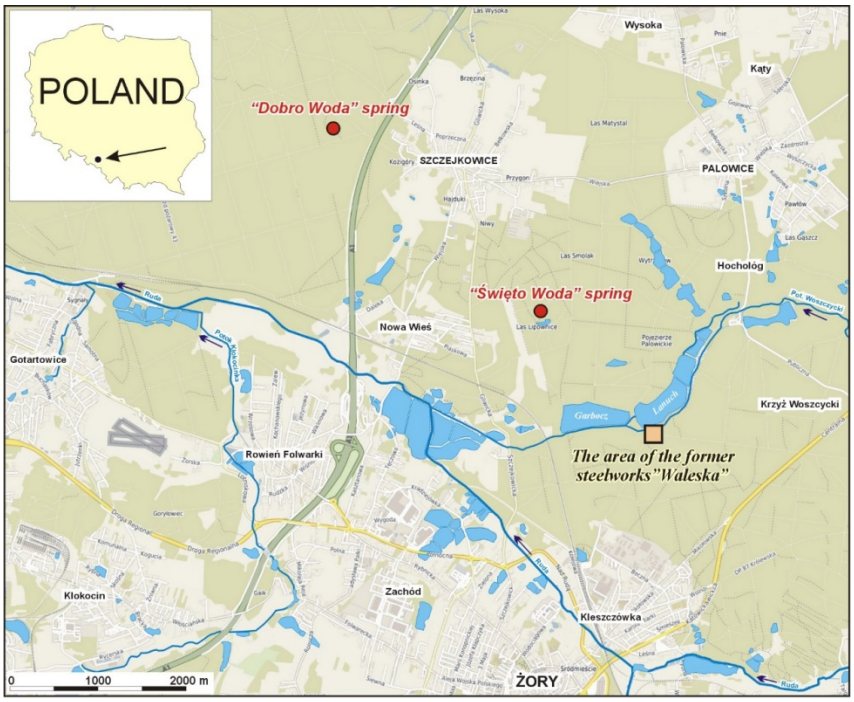
OBSZAR BADAŃ

Przedmiotem badań są wody dwóch źródeł – Dobro Woda (ryc. 1) i Święto Woda (ryc. 2), które znajdują się na terenie tzw. Pojezierza Palowickiego, położonego pomiędzy miejscowościami Żory i Palowice (południowa Polska). Pojezierze położone jest w obrębie makroregionu Wyżyny Śląskiej i mezoregionu Wyżyny Katowickiej [31]. Pojezierze Palowickie położone jest na terenie Parku Krajobrazowego „Cysterskie Kompozycje Krajobrazowe Rud Wielkich" i składa się z 10 stawów hodowlanych oraz trzech zbiorników poeksploatacyjnych o łącznej powierzchni 57 ha. Cały zespół położony jest w dolinie potoku Jesionki i rzeki Rudy (ryc. 1). Teren Krainy Jezior jest wykorzystywany do rekreacji przez cały rok. Wyznaczono tu 3,5-kilometrową ścieżkę narciarsko-dydaktyczną, z której korzystają także piesi i rowerzyści. Dodatkowo przez tereny leśne przebiega 34-kilometrowa pętla rowerowa, z wyłączeniem ruchu samochodowego.

Ryc. 1 Wypływ źródła Dobro Woda.

Ryc. 2 Wypływ źródła Święto Woda.

W przeszłości obszar ten był silnie uprzemysłowiony. Na Pojezierzu znajdują się pozostałości huty Waleska w postaci 15-metrowej wieży zwanej Gichtą. Huta działała w tym miejscu do 1855 roku. Stawy są pozostałością po odkrywkowej kopalni rudy darniowej.



Ryc. 3 Obszar badań.

Obszar badań położony jest w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, związanym z orogenezą waryscyjską i alpejską. W rejonie źródeł seria węglonośna górnego karbonu utworzona jest przez piaskowce, mułowce i iłowce, wśród których występują pokłady węgla kamiennego. Profil geologiczny obejmuje serię paraliczną - nad piaskowcami dominują mułowce i iłowce; Górnośląska Seria Piaskowców, na którą składają się warstwy piaskowców i pokładów węgla oraz iłowców i mułowców, następnie Seria Mulowcowa, w której dominują iłowce i iłowce, oraz Krakowska Seria Piaskowców, na którą składają się słabo zwarte piaskowce, zlepieńce, i mułowce. Miąższość osadów karbonu wynosi około 860 m. Osady neogenu leżą bezpośrednio na osadach górnego karbonu. Są to głównie osady miocenu wytworzone w postaci iłów marglistych z utworami gipsowo-solnym w stropie. Utwory czwartorzędowe charakteryzują się nieciągłym rozmieszczeniem i zmienną miąższością, od kilku do 100 m. Tworzą je głównie plejstoceńskie piaski i żwiry polodowcowe zlodowaceń środkowopolskich. Występują także lessy związane ze zlodowaceniem Wisły. W dolinach rzecznych występują osady aluwialne, iły, piaski i żwiry akumulacji rzecznej o miąższości do 5 m, zalegające bezpośrednio na żwirach i piaskach zlodowaceń środkowopolskich.

W profilu hydrogeologicznym analizowanego obszaru występują trzy piętra wodonośne: czwartorzędowe, neogeńske i karbońske. Czwartorzędowe piętro wodonośne tworzy zwykle jeden poziom, lokalnie oddzielony iłami i wkładami ilastymi.

Głębokość zwierciadła wody zależy od ukształtowania terenu i waha się od 2 m w dolinach do 10–20 m na terenach pagórkowatych. Zwierciadło wody jest zwykle swobodne, napięte tylko lokalnie. Współczynnik filtracji osadów wodonośnych czwartorzędowych waha się od 7,21×10–2 do 172,8 m/d. Właściwości hydrogeologiczne kompleksu żwirowo-piaskowego wypełniającego formy dolinowe dochodzą do miąższości do 77,0 m, natomiast w przybrzeżnej części dolin do 10–20 m [32]. Poziom wodonośny czwartorzędu zasilany jest przez opady atmosferyczne i lokalnie przez strumienie powierzchniowe. Podstawą drenażu są doliny rzeczne i ujęcia wód podziemnych [33].

Poziom wodonośny neogenu zbudowany jest z soczewek, pokładów i lamin utworów piaskowo-mułowych występujących w zwartym, prawie nieprzepuszczalnym kompleksie iłów. Miąższość osadów ilastych jest zmienna i dochodzi do 300 m. Warstwy piaszczyste osiągają miąższość do około 140 m. Współczynnik filtracji osiąga wartość 0,1–0,01 m/d. Zasilanie warstwy wodonośnej neogenu jest bardzo ograniczone. Na małych głębokościach odbywa się to pośrednio poprzez infiltrację przez przepuszczalne utwory czwartorzędowe, natomiast na głębszych głębokościach dominują wody reliktowe.

Na zasilanie warstw karbońskich nie ma wpływu woda z leżących nad nimi warstw wodonośnych ze względu na izolację powierzchni przez ciągły szereg nieprzepuszczalnych iłów neogeńskich. Wartość współczynnika filtracji waha się od 8,64×10–5 do 3,02×10–1 m/d. Poziom wodonośny występuje na głębokości do 1000 m.

METODYKA

Badania w źródlach obejmowały dwie serie pomiarowe przeprowadzone w listopadzie 2023 r. i lutym 2024 r. Podczas wyjazdów terenowych pobierano próbki wody do analiz fizykochemicznych i bakteriologicznych. Analizy fizykochemiczne i bakteriologiczne wykonano w akredytowanym laboratorium. W zakresie parametrów fizykochemicznych wartości przewodności elektrycznej (PEW), pH, Ca, Na, K, Mg, Fe, Al, Mn, Ni, Cu, Sr, S, Cl, SO_4, HCO_3, NO_3, NO_2, NH_4, PO_4, N, Ogólny Węgiel Organiczny (OWO), Pb, Cd, Cr, Hg, Zn, kwasowość i zasadowość. Potencjalną obecność patogenów w wodach środowiskowych wywnioskowano na podstawie oznaczenia bakterii z grupy coli, enterokoków, P. aeruginosa i C. perfringens.

Ze względu na fakt, że wodę z obu ujęć pobierają turyści i lokalni mieszkańcy, dla każdego punktu w obu seriach pomiarowych obliczono Wskaźnik Jakości Wody w celu określenia zagrożenia dla wody. Wskaźnik jakości wody (WQI) jest

jednym z najbardziej optymalnych sposobów opisu jakości wody i oceny ryzyka związanego z wodą. Wskaźnik został po raz pierwszy użyty przez Hortona (1965). Wszystkim parametrom przypisuje się wagi w zależności od ich wpływu na zdrowie [30]. Obliczenie tego wskaźnika obejmuje następujące etapy: (i) przypisanie wag parametrom fizykochemicznym, (ii) opracowanie skali ocen oraz (iii) obliczenie WQI. Obliczanie wag względnych (Wi) wygląda następująco (1):

$$W_i = \frac{w_i}{\sum w_i} \quad (1)$$

gdzie wi to wartości wag parametrów.

Następnie oblicza się skalę oceny jakości (qi) za pomocą równania. 2:

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} \cdot 100 \quad (2)$$

gdzie:
C_i to stężenie parametru,
S_i to wartość referencyjna parametru
WQI jest obliczany na podstawie wzoru:

$$WQI = \sum_{n=1}^{N} SI \quad (3)$$

gdzie:
SI to indeks częściowy obliczany ze wzoru (4):

$$SI = W_i \cdot q_i \quad (4)$$

Tradycyjne podejście do WQI uwzględnia 9 parametrów, których suma wag ma wartość 100. Parametry te to rozpuszczony tlen, bakterie z grupy coli, pH, biochemiczne zapotrzebowanie tlenu, zmiana temperatury, całkowity poziom fosforanów, azotanów, zmętnienie i całkowita zawartość substancji stałych [34]. Z uwagi na to, że nie wszystkie parametry zostały wyznaczone dla wód w źródłach, WQI obliczono dla następujących składników i przypisano im odpowiednie wagi względne: tlen rozpuszczony (0,22), całkowita liczba mikroorganizmów w temperaturze 22±2°C (0,21), pH (0,15), fosforany całkowite (0,13), azotany (0,13), PEW (0,16). Indeks klasyfikuje wodę w następujących klasach: WQI < 50: woda doskonała; 50–100 WQI: dobra woda; WQI > 100: zła woda.

WYNIKI I DYSKUSJA

Uzyskane wartości biologiczne i fizykochemiczne porównano z normami jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi i obliczono wartości Wskaźnika Jakości Wody dla sześciu parametrów. Wartość przewodności właściwej elektrolitycznej w pierwszej serii pomiarowej wyniosła 180 µS/cm, w drugiej serii 172 µS/cm dla Źródła Dobro Woda oraz odpowiednio 175 i 150 µS/cm dla Źródła Święto Woda. Wartości większości parametrów w większości przypadków kształtowały się na poziomie kilkunastu procent normy dla wody pitnej i dla I klasy jakości wody (tab. 1).

Generalnie pH próbek wody ze źródeł jest niższe od wartości pH optymalnych (6,5–8,5) ustalonych we wspomnianych przepisach i przez WHO [35]. Dla obu źródeł nie było reguły pH-temperatura. W źródle Dobro Wody przy wyższej temperaturze zaobserwowano niższe pH, a w drugim źródle było odwrotnie. Należy zaznaczyć, że charakterystycznym dla tego regionu jest obniżone pH wód gruntowych. Obliczone wartości zasadowości w listopadzie 2023 r. i lutym 2024 r. dla pierwszego źródła wyniosły 5 mg $CaCO_3$/l, a dla drugiego źródła odpowiednio około 24 i 16 mg $CaCO_3$/l. Są to bardzo niskie wartości, podobne do wody deszczowej. W przypadku niskiej zasadowości wody pitnej możliwa jest korozja metalowych rur, armatury i metalowych elementów wymienników ciepła i innych urządzeń.

Tab. 1

Wyniki analiz ze źródeł Dobro Woda (I) i Święto Woda (II).

Parametr	Jednostka	I (1)	I (2)	II (1)	II (2)	Granica dla wody pitnej	Granica dla pierwszej klasy jakości
EC	µS/cm	180	172	175	150	2500	700
Na	mg/l	4.4	5	5.3	5.1	200	60
K	mg/l	2.4	2.3	1.9	1.8	-	10
Ca	mg/l	20	27	25	26	-	50
Mg	mg/l	5.3	7.2	4.5	5.4	125	30
Fe	mg/l	0.042	0.11	0.2	0.33	0.2	0.2
Al	mg/l	0.093	0.13	0.23	0.49	0.2	0.1
Mn	mg/l	0.019	0.033	0.066	0.095	0.05	0.05

Ni	mg/l	0.011	0.006	0.005	0.007	0.002	0.005
Cu	mg/l	0.002	0.011	0.002	0.007	-	0.01
Sr	mg/l	0.18	0.19	0.15	0.13	-	
S	mg/l	18	19	14	13	-	
Cl	mg/l	8	8	13	9	250	60
SO_4	mg/l	63	70	50	44	250	60
HCO_3	mg/l	6	6	29.1	20.6	-	200
NO_3	mg/l	1.5	2.8	3	6.7	50	10
NO_2	mg/l	0.033	0.033	0.033	0.033	0.5	0.03
NH_4	mg/l	0.065	0.065	0.065	0.065	0.5	0.5
PO_4	mg/l	0.025	0.025	0.025	0.025	-	0.5
N_K	mg/l	2.5	2.5	2.5	2.5	-	
TOC	mg/l	2.8	2.1	9.1	8.6	-	5
Pb	mg/l	0.002	0.002	0.002	0.002	0.01	0.01
Cd	mg/l	0.00025	0.00025	0.00025	0.00025	0.005	0.001
Cr	mg/l	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.05	0.01
Hg	mg/l	0.00005	0.00005	0.00005	0.00005	0.001	0.001
Zn	mg/l	0.023	0.047	0.048	0.1	-	0.05
Kwasowość	mmol/l	0.1	0.78	1.1	0.1	-	
Zasadowość	mg/l $CaCO_3$	5	5	23.9	16.9	-	
Rozpuszczony tlen	mg/l	7.8	10.9	9.2	11	8	
pH		5.54	6.05	5.86	5.6	6.5-8.5	6.5-9.5
Liczba bakterii z grupy coli	jtk/100ml	10	0	35	0	0	
Liczba Escherichia coli	jtk/100ml	4	0	13	5	0	
Liczba Enterokoków	jtk/100ml	6	0	0	0	0	
Liczba Clostridium perfringens	jtk/100ml	0	0	0	0	0	
Całkowita liczba mikroorganizmów w temperaturze 22±2°C	jtk/ml	>300	>300	>300	>300	100	
Liczba Pseudomonas aeruginosa	jtk/100ml	0	0	0	0	0	
Całkowita liczba mikroorganizmów w temperaturze 36±2°C	jtk/ml	22	0	29	38	20	

Wartości tlenu rozpuszczonego w pierwszej i drugiej serii pomiarowej dla źródła Dobro Woda i Święto Woda wynosiły odpowiednio 7,8-10,9 mg/l i 9,2-11. Wartość ta była ogólnie stabilna pomiędzy okresami zbierania danych, ale była wyższa od norm. Rozpuszczony tlen odgrywa znaczącą rolę w procesach biologicznych w fizjologii organizmu i powoduje, że smak wody jest lepszy, ale niestety powoduje korozję rur wodociągowych.

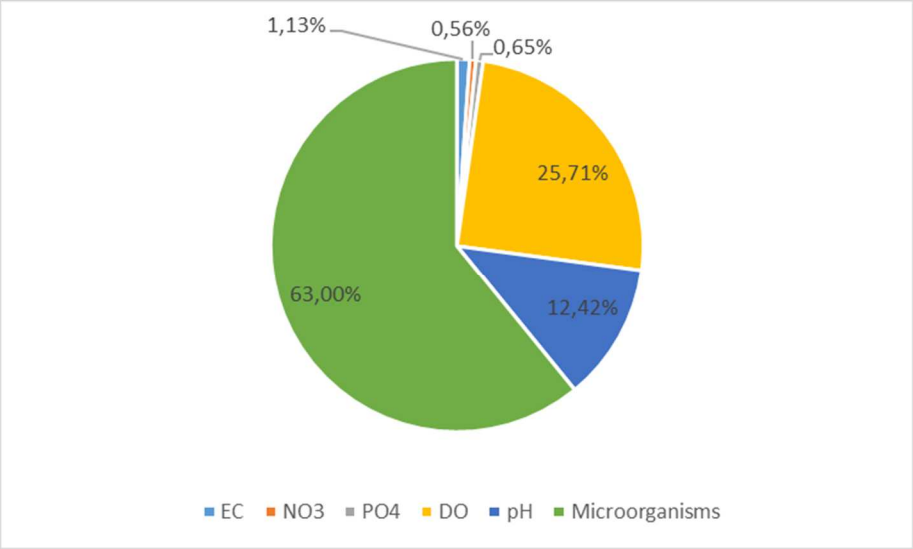
Bardziej zanieczyszczona woda występuje w źródle Święto Woda. Jednak również w źródle Dobro Woda zaobserwowano zwiększone stężenia niektórych składników. Przekroczenia wartości dopuszczalnych w stosunku do norm dla wody przeznaczonej do picia lub do I klasy jakości wody odnotowano w przypadku stężeń żelaza, glinu, manganu, niklu i całkowitego węgla organicznego. Dodatkowo zaobserwowano obniżone pH wody oraz obecność bakterii z grupy coli. Występowanie tu podwyższonej zawartości żelaza i manganu związane jest z dawną eksploatacją rud darniowych. Należy pamiętać, że duże ilości żelaza w wodach gruntowych mogą być toksyczne nie tylko dla ludzi poprzez spożycie wody, ale także toksyczne dla roślin. Dodatkowo należy zaznaczyć, że złoża rud darniowych mogą wpływać na lokalne warunki hydrologiczne, gdyż mogą tworzyć w płytkim podłożu warstwę nieprzepuszczalną [36]. Woda pitna o wysokim stężeniu

manganu może powodować problemy zdrowotne, takie jak zapalenie oskrzeli, choroba Parkinsona i neurotoksyczność [37]. Nikiel jest jednak znacznie bardziej toksyczny. Nikiel występuje w minerałach, zwykle zawierających siarkę i arsen. Można go także łączyć ze ściekami z obróbki powierzchni metali i ściekami z metalurgii barwnej. Narażenie na wysokie stężenia niklu w wodzie może powodować problemy z oddychaniem, podrażnienie skóry i raka.

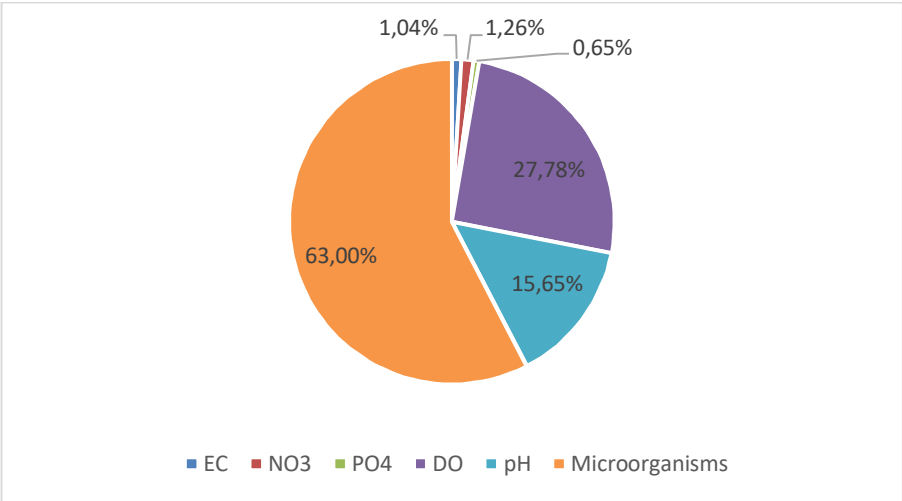
Kolejnym składnikiem, który przekroczył dopuszczalne normy, jest całkowity węgiel organiczny. W obu seriach pomiarowych odnotowano niemal dwukrotny wzrost zawartości tego składnika w wodach źródła Święto Woda. Obecność węgla organicznego w zbiornikach wodnych powoduje pogorszenie jakości wody. Jednym ze źródeł węgla organicznego są odpady przemysłowe. Składnik ten może być wysoce toksyczny i trwały, kumulować się w organizmie człowieka i powodować niekorzystne skutki zdrowotne [38].

Wody powierzchniowe mogą być nośnikiem drobnoustrojów chorobotwórczych w kontakcie z odchodami ludzkimi. Woda zanieczyszczona mikrobiologicznie staje się niebezpieczna do picia. Escherichia coli jest doskonałym wskaźnikiem skażenia wody kałowej. Analizy mikrobiologiczne wykazały, że w obu seriach liczba bakterii heterotroficznych wynosiła 4 jtk/100ml w pierwszej próbce ze źródła Dobro Woda oraz 13 i 5 w drugim źródle (liczba Escherichia coli). Należy zaznaczyć, że w próbkach z listopada stwierdzono większą liczbę bakterii. Ich niższą zawartość lub całkowity brak zaobserwowano w próbkach z lutego, w niższych temperaturach.

Dla obu serii pomiarowych obliczono także wskaźniki WQI. Wskaźnik obliczono dla sześciu parametrów, tj. PEW, pH, tlenu rozpuszczonego, azotanów, fosforanów i ogólnej liczby mikroorganizmów w temperaturze 22±2°C. W przypadku źródła Dobro Woda wartości wskaźników wyniosły odpowiednio 99 i 108. Natomiast w przypadku źródła Święto Woda wskaźnik ten osiągnął w listopadzie poziom 103, a w lutym 115. Zgodnie z klasyfikacją tego wskaźnika obliczone w ten sposób wartości wskazują na duże zanieczyszczenie wody. W obu przypadkach na wysoką wartość wskaźnika WQI miała wpływ liczba drobnoustrojów, które w 63% determinowały tę wartość (ryc. 3, 4). Dodatkowo istotny wpływ miała zawartość rozpuszczonego tlenu i wartość pH.



Ryc. 4 Średni udział poszczególnych parametrów w wartości WQI źródła Dobro Woda.



Ryc. 5 Średni udział poszczególnych parametrów w wartości WQI źródła Święto Woda.

Z uwagi na fakt, że woda z obu źródeł jest stale pobierana do celów pitnych przez lokalnych mieszkańców i turystów, istotne jest ciągłe monitorowanie zmienności wybranych parametrów. Niestety dla większości tego typu miejsc nie prowadzi się takich pomiarów, chociaż takie działanie idealnie wpisywałoby się w koncepcję inteligentnego miasta – inteligentnej wody [39]. Na wypływie źródeł na Pojezierzu Palowickim możliwa byłaby instalacja czujników, które funkcjonowałyby w zrównoważonej sieci kilku czujników Internetu Rzeczy (IoT) [40]. Należy zaznaczyć, że wiele osób informacje o walorach turystycznych i krajobrazowych takich miejsc jak opisywane Pojezierze czerpie z Internetu. Niestety nie wszyscy mają wiedzę na temat jakości wody, zmian parametrów fizykochemicznych i bakteriologicznych. Dodatkowo nawet osoby korzystające z zasobów wody źródlanej bardzo często nie są świadome stopnia skażenia i możliwych konsekwencji zdrowotnych. Idealnym rozwiązaniem byłoby wykorzystanie możliwości Narrowband Internet of Things (NB-IoT), czyli licencjonowanego widma zestandaryzowanej sieci rozległej małej mocy. Łączenie możliwości sieci mobilnych z Internetem Rzeczy cieszy się popularnością, ponieważ pozwala na odczyt danych z różnych czujników, które można umieścić nawet w trudno dostępnych miejscach. Czujniki działające w licencjonowanym widmie komunikacji komórkowej pozwalają NB-IoT poprawić zasięg o 20 dB w porównaniu do GSM. Dodatkowo tak działające czujniki mogą pracować na jednej baterii aż do 15 lat [41,42]. Powstałe w ten sposób systemy sensoryczne, działające w sieciach komórkowych wybranego operatora, mogą przesyłać dane do odpowiednich aplikacji, a także mogą być udostępniane na stronie internetowej. Takie rozwiązania zostały już wdrożone w celu racjonalnej gospodarki wodnej w różnych miastach w Polsce i sieci komórkowej T-Mobile m.in. montaż boi analitycznej na rzece Odrze (https://www.wroclaw.pl/dla-mieszkanca/analityczna-bojka-zostala -rozpoczęty-na-odrze-w-centrum-wrocławia).

W ten sposób osoby zainteresowane analizowanym obszarem i możliwością pozyskania wody mogły uzyskać informację o aktualnej jakości wody i braku przeciwwskazań do jej picia. Na całym świecie istnieje wiele obiektów miejskich stojących przed podobnymi wyzwaniami związanymi z wodą, odpadami i zmianami klimatycznymi. Coraz popularniejsza staje się wymiana wiedzy i doświadczeń pomiędzy miastami, czyli model „miasto do miasta" (C2C). Wprowadzenie tej formy społecznego uczenia się umożliwiłoby osiągnięcie celów ekonomicznych, środowiskowych i zdrowotnych [43].

KONKLUZJE

Badanie to ujawniło pewne niepokojące problemy związane z użytkowaniem wody na obszarach miejskich. Próbki ze źródeł Dobro Woda i Święto Woda zawierają podwyższone stężenia żelaza, manganu, niklu, OWO oraz bakterii, m.in. bakterii z grupy coli i enterokoków. Każdy z tych parametrów oznacza, że wody te nie powinny być spożywane przez człowieka bez dodatkowego oczyszczania. Dodatkowo woda charakteryzuje się obniżonym pH i podwyższoną zawartością rozpuszczonego tlenu. Wskazane parametry występujące w wyższych stężeniach, oprócz wpływu na zdrowie, powodują również negatywne skutki ekonomiczne, takie jak korozja rur. O wysokim stopniu zanieczyszczenia tych wód potwierdzają także wysokie wartości wskaźnika WQI (powyżej 100), na które duży wpływ ma zawartość mikroorganizmów.

Z uwagi na fakt, że badane źródła zlokalizowane są na obszarze miejskim wykorzystywanym turystycznie i rekreacyjnie, niezwykle istotne jest w tym kontekście ciągłe monitorowanie zmian jakości tych wód. Można to osiągnąć wykorzystując nowoczesne technologie, takie jak wąskopasmowy Internet Rzeczy (NB-IoT). Dzięki tej technologii oraz zainstalowaniu czujników przesyłających dane na odpowiedni serwer lokalni mieszkańcy byliby na bieżąco informowani o możliwości picia dobrej jakości wody. Pojezierze Palowickie nie jest jedynym obszarem w przestrzeni miejskiej, na który wpływają czynniki antropogeniczne. Warto zatem rozważyć możliwości transferu wiedzy z innymi miastami w oparciu o metodologię „miasto do miasta". Bardzo ważne jest rozważenie odpowiedniego zabezpieczenia źródeł przed nadmiernym zanieczyszczeniem.

BIBLIOGRAFIA

1. Tonne C, Linda A, Deepti A, Isabelle A, Kristine B, Maximilian B, Christa B, et al. Defining pathways to healthy sustainable urban development. Environment International 2021; 146:106236, DOI 10.1016/j.envint.2020.106236;
2. Donghwan K, Lee S. Analyzing the effects of Green View Index of neighborhood streets on walking time using Google Street View and deep learning. Landscape and Urban Planning 2021; 205:103920, DOI 10.1016/j.landurbplan.2020.103920;
3. Rainer G. Producing Nature for Tourism: A Political Ecology Angle. Annals of Tourism Research 2018; 71:62–63, DOI 10.1016/j.annals.2018.01.004;
4. Collins RM, Spake R, Brown KA, Ogutu BO, Smith D, Eigenbrod F. A Systematic Map of Research Exploring the Effect of Greenspace on Mental Health. Landscape and Urban Planning 2020; 201:103823, DOI 10.1016/j.landurbplan.2020.103823;
5. Zhicheng Z, Shen W, Li Y, Qin Y, Wang L. Spatial Equity of Park Green Space Using KD2SFCA and Web Map API: A Case Study of Zhengzhou, China. Applied Geography 2020; 123:102310, DOI 10.1016/j.apgeog.2020.102310;
6. Šourková M, Adamcová D, Zloch J, Skutnik Z, Vaverková MD. Evaluation of the Phytotoxicity of Leachate from a Municipal Solid Waste Landfill: The Case Study of Bukov Landfill. Environments 2020; 7(12):111, DOI 10.3390/environments7120111;
7. Al-Ghouti MA, Khan M, Nasser MS, Al-Saad K, Heng OE. Recent Advances and Applications of Municipal Solid Wastes Bottom and Fly Ashes: Insights into Sustainable Management and Conservation of Resources. Environmental Technology & Innovation 2021; 21:101267, DOI 10.1016/j.eti.2020.101267;
8. Abubakar IR, Maniruzzaman KM, Dano UL, AlShihri FS, AlShammari MS, Ahmed SMS, Al-Gehlani WA, Alrawaf TI. Environmental Sustainability Impacts of Solid Waste Management Practices in the Global South. International Journal of Environmental Research and Public Health 2020; 19(19):12717, DOI 10.3390/ijerph191912717;
9. Cirrincione L, Gennusa ML, Peri G, Rizzo G, Scaccianoce G. The Landfilling of Municipal Solid Waste and the Sustainability of the Related Transportation Activities. Sustainability 2022; 14(9):5272, DOI 10.3390/su14095272;
10. Owamah IH, Asiagwu AK, Egboh SHO, Phil-Usiayo S. Drinking Water Quality at Isoko North Communities of the Niger Delta Region, Nigeria. Toxicological & Environmental Chemistry 2013; 95(7): 1116–1128, DOI 10.1080/02772248.2013.847939;
11. McDonald RI, Weber K, Padowski J, Flörke M, Schneider C, Green PA, Gleeson T, et al. Water on an Urban Planet: Urbanization and the Reach of Urban Water Infrastructure. Global Environmental Change 2014; 27:96–105, DOI 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.022;
12. Du L, Peng X, Zhao Y, Lyu J, Pan M. From Nature-Based to Engineering-Based: The Interaction Process and Turning Point of the City-Water System Relationship in the North China Plain. Applied Geography 2021; 135:102556, DOI 10.1016/j.apgeog.2021.102556;
13. Fitoka E, Tompoulidou M, Hatziiordanou L, Apostolakis A, Höfer R, Weise K, Ververis C. Water-related ecosystems' mapping and assessment based on remote sensing techniques and geospatial analysis: The SWOS national service case of the Greek Ramsar sites and their catchments. Remote Sensing of Environment 2020; 245:111795, DOI 10.1016/j.rse.2020.111795;
14. Backes JG, Traverso M. Life cycle sustainability assessment as a metrics towards SDGs agenda 2030. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry 2022; 38:100683, DOI 10.1016/j.cogsc.2022.100683;

15. Zhao Y, Wang Y, Wang Y. Comprehensive Evaluation and Influencing Factors of Urban Agglomeration Water Resources Carrying Capacity. Journal of Cleaner Production 2021; 288:125097, DOI 10.1016/j.jclepro.2020.125097;
16. Malakar K, Lu C. Measuring sustainability as distance to ideal position of economy, society and environment: Application to China's provincial water resources (2004–17). Journal of Environmental Management 2021; 292:112742, DOI 10.1016/j.jenvman.2021.112742;
17. Liu H, Xia J, Zou L, Huo R. Comprehensive quantitative evaluation of the water resource carrying capacity in Wuhan City based on the "human–water–city" framework: Past, present and future. Journal of Cleaner Production 2022; 366:132847, DOI 10.1016/j.jclepro.2022.132847;
18. Jokiel P. Springs, their role in the environment and importance in water management. Folia Geographica 1997; 2:5–7;
19. Sari MM, Andarani P, Notodarmojo S, Harryes RK, Nguyen MN, Yokota K, Inoue T. Plastic Pollution in the Surface Water in Jakarta, Indonesia. Marine Pollution Bulletin 2022; 182:114023, DOI 10.1016/j.marpolbul.2022.114023;
20. Keeler BL, Polasky S, Brauman KA, Johnson KA, Finlay JC, O'Neill A, Kovacs K, Dalzell B. Linking water quality and well-being for improved assessment and valuation of ecosystem services. Proceedings of the National Academy of Sciences 2012; 109(45):18619–18624, DOI 10.1073/pnas.1215991109;
21. Pokładek R, Kowalczyk T, Orzepowski W, Pulikowski K. Na, K, Ca and Mg concentrations in effluent water drained from agricultural catchment basins in Lower Silesia. Journal of Elementology 2011; 16(3):467-479, DOI 10.5601/jelem.2011.16.3.11;
22. Chen Z, Auler AS, Bakalowicz M, Drew D, Griger F, Hartmann J, Jiang G, et al. The World Karst Aquifer Mapping project: concept, mapping procedure and map of Europe. Hydrogeology Journal 2017; 25(3): 771–785, DOI 10.1007/s10040-016-1519-3;
23. Nitasha K, Tyagi S. Influences of Natural and Anthropogenic Factors on Surface and Groundwater Quality in Rural and Urban Areas. Frontiers in Life Science 2014; 8(1):23–39, DOI 10.1080/21553769.2014.933716;
24. Grimalt JO, Fernandez P, Berdie L, Vilanova RM, Catalan J, Psenner R, Hofer R, et al. Selective Trapping of Organochlorine Compounds in Mountain Lakes of Temperate Areas. Environmental Science & Technology 2001; 35(13):2690–2697, DOI 10.1021/es000278r;
25. Gothwal R, Shashidhar T. Antibiotic Pollution in the Environment: A Review. CLEAN – Soil, Air, Water 2014; 43(4):479–489, DOI 10.1002/clen.201300989;
26. Kumar R, Sharma P, Manna C, Jain M. Abundance, Interaction, Ingestion, Ecological Concerns, and Mitigation Policies of Microplastic Pollution in Riverine Ecosystem: A Review. Science of The Total Environment 2021; 782:146695, DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.146695;
27. Muter O, Bartkevics V. Advanced analytical techniques based on high-resolution mass spectrometry for the detection of micropollutants and their toxicity in aquatic environments. Current Opinion in Environmental Science & Health 2020; 18:1–6, DOI 10.1016/j.coesh.2020.05.002;
28. Chartres N, Bero LA, Norris SL. A Review of Methods Used for Hazard Identification and Risk Assessment of Environmental Hazards. Environment International 2019; 123:231–239, DOI 10.1016/j.envint.2018.11.060;
29. Sumdang N, Chotpantarat S, Cho KH, Thanh NN. The risk assessment of arsenic contamination in the urbanized coastal aquifer of Rayong groundwater basin, Thailand using the machine learning approach. Ecotoxicology and Environmental Safety 2023; 253:114665, DOI 10.1016/j.ecoenv.2023.114665;
30. Chegbeleh LP, Akurugu BA, Yidana SM. Assessment of Groundwater Quality in the Talensi District, Northern Ghana. The Scientific World Journal 2020; 4:1–24, DOI 10.1155/2020/8450860;
31. Kondracki J. Geografia Regionalna Polski. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN; 2000;
32. Labus K. Chemistry and origin of mine waters in the southwestern part of Upper Silesia Coal Basin. Kraków: Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN; 2003;
33. Różkowski A. Map of the conditions of occurrence, use, threat and protection of ordinary underground waters of the Upper Silesian Coal Basin and its periphery; 1: 100,000. Warsaw: Polish Geological Institute; 1997;
34. Patel DD, Mehta DJ, Azamathulla HM, Shaikh MM, Jha S, Rathnayake U. Application of the Weighted Arithmetic Water Quality Index in Assessing Groundwater Quality: A Case Study of the South Gujarat Region. Water 2023; 15(19):3512, DOI 10.3390/w15193512;
35. Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda [Internet]. Geneva: World Health Organization 2022; PMID: 35417116;
36. Thelemann M, Bebermeier W, Hoelzmann P, Lehnhardt E. Bog iron ore as a resource for prehistoric iron production in Central Europe — A case study of the Widawa catchment area in eastern Silesia, Poland. CATENA 2017; 149:474–490, DOI 10.1016/j.catena.2016.04.002;
37. Bouchard M, Laforest F, Vandelac L, Bellinger D, Mergler D. Hair Manganese and Hyperactive Behaviors: Pilot Study of School-Age Children Exposed through Tap Water. Environmental Health Perspectives 2007; 115(1):122–27, DOI 10.1289/ehp.9504;
38. Bisutti I, Hilke I, Raessler M. Determination of Total Organic Carbon – an Overview of Current Methods. TrAC Trends in Analytical Chemistry 2004; 23(10–11):716–26, DOI 10.1016/j.trac.2004.09.003;
39. Mukherjee S, Ashfaq M, Mishra AK. Compound Drought and Heatwaves at a Global Scale: The Role of Natural Climate Variability-Associated Synoptic Patterns and Land-Surface Energy Budget Anomalies. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 2020; 125(11), DOI 10.1029/2019jd031943;
40. Satyam, Mukherjee P. Implications of Progressive Data Transfer Technologies for IOT-Based Wastewater Management in Smart Cities. Applications of 5G and Beyond in Smart Cities 2023; 129–142, DOI 10.1201/9781003227861-8;
41. Prados-Garzon J, Ameigeiras P, Ordonez-Lucena J, Munoz P, Adamuz-Hinojosa O, Camps-Mur D. 5G Non-Public Networks: Standardization, Architectures and Challenges. IEEE Access 2021; 9:153893–153908, DOI 10.1109/access.2021.3127482;
42. Hamidi-Sepehr F, Sajadieh M, Panteleev S, Islam T, Karls I, Chatterjee D, Ansari J. 5G URLLC: Evolution of High-Performance Wireless Networking for Industrial Automation. IEEE Communications Standards Magazine 2021; 5(2):132–40, DOI 10.1109/mcomstd.001.2000035;
43. Boer J, Dieperink C, Mukhtarov F. Social Learning in Multilevel Flood Risk Governance: Lessons from the Dutch Room for the River Program. Water 2019; 11(10):2032, DOI 10.3390/w11102032.

Dominika Dąbrowska
Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk Przyrodniczych
Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec
dominika.dabrowska@us.edu.pl