

Nauka obywatelska (citizen science) jako metoda pozyskania danych o jakości wód oraz oceny zasolenia wód powierzchniowych w Polsce

Streszczenie

Wzrost zasolenia wód powierzchniowych – będący konsekwencją przekazywania do nich zanieczyszczeń pochodzenia przemysłowego i komunalnego – jest problemem w skali globalnej, a jego negatywny wpływ na stan wód w Polsce to jedno z największych wyzwań zarządzania środowiskiem. Zasolenie wód słodkich wpływa na bezpieczeństwo wody pitnej, stan ekosystemów, produkcję żywności, powoduje korozję infrastruktury oraz zaburza różnorodność biologiczną (Duan i Kaushal, 2015).

Katastrofa Odrzańska z lipca i sierpnia 2022 roku – chwilowo – uczyniła problem dotkliwością skutków wzrostu zanieczyszczenia (zasolenia) wód wiodącym tematem debaty publicznej. W raporcie podsumowującym jej przyczyny wskazano, że najważniejszą z nich był właśnie wykraczający poza przyjęte normy poziom zasolenia rzeki. Choć jedynie w niewielkim stopniu zależy ono od codziennych decyzji Polaków w zakresie korzystania z zasobów wodnych, to Katastrofa Odrzańska wzmogła czujność obywatelską w zakresie potrzeby obserwacji stanu naszych rzek i jezior.

O ile obywatele nie mają bezpośredniego wpływu na zarządzanie problemem wzrostu zasolenia rzek i jezior, które może wynikać np. ze spływu wód roztopowych pochodzących z odladzanych solą dróg czy przekazywania do rzek wód pokopalnianych, o tyle istnieje potrzeba zwiększania ich świadomości w kwestiach konieczności poprawy jakości wód (na wzór kampanii informacyjnych dotyczących jakości powietrza), w tym zahamowania wzrostu zasolenia w zbiornikach wodnych położonych w „sąsiedztwie”.

Jedną z metod takiej edukacji może być aktywny udział obywateli w monitorowaniu jakości wód powierzchniowych. Doświadczenia innych krajów pokazują, że tzw. citizen science, czyli nauka obywatelska (Varaden i in., 2021; Ramírez i in., 2023), staje się coraz częściej stosowanym podejściem w badaniach stanu wód, ponieważ pozwala pozyskać dane z miejsc, które nie są objęte systematycznym i profesjonalnym monitoringiem. Trend ten zyskuje w ostatnich latach na popularności, m.in. dzięki rozwojowi Internetu i nowoczesnych technologii informacyjnych. Przykładem takiego działania jest przedstawiony w opracowaniu spławik Aguard®: urządzenie pozwalające zmierzyć przewodność elektrolityczną wody, co z kolei umożliwia szybką i dokładną ocenę jej zasolenia.

Wprowadzenie

Nagłaśnianie problemu zanieczyszczenia powietrza spowodowało wzrost świadomości jego konsekwencji dla zdrowia publicznego, a tym samym potrzebę ograniczenia emisji gazów cieplarnianych, inwestycji w przedsięwzięcia, które służyłyby ograniczaniu emisji pyłów zawieszonych i efektywności energetycznej.

Tej zmianie towarzyszy rozwój nauki obywatelskiej – z dominującym przekazem, że czyste powietrze zależy także od codziennych wyborów społeczeństwa.

O zanieczyszczeniu wód w polskim społeczeństwie mówi się mniej, choć ostatnio temat ten pojawia się w dyskusjach publicznych częściej niż jeszcze kilka lat temu (Portalsamorzadowy.pl, 2023). Na problemy związane z zasobami wodnymi zaczęto zwracać uwagę w związku z przedłużającymi się okresami suszy – nie tylko w czasie sezonu letniego. Mówi się, że Polska stepowieje, nasze zasoby wodne zmniejszają się, mimo że okresowo, na skutek gwałtownych zjawisk pogodowych, niektóre części kraju dotykają powodzie czy podtopienia (Green-news.pl, 2020). Zwraca się uwagę na konieczność zwiększania retencji, możliwość wykorzystania okresowego nadmiaru wody deszczowej, potrzebę zapobiegania jej marnotrawstwu w skali gospodarstw domowych, rolnych czy przedsiębiorstw, choćby poprzez tworzenie obiegów zamkniętych. Na konkretnych przykładach, np. analizując przyczyny i skutki Katastrofy Odrzańskiej, są przedstawiane rozwiązania systemowe, które wskazują konkretne kierunki działania (Czerniawski i in., 2024). Jakkolwiek, dyskusja o stanie zasobów wodnych nie dotyczy tylko ich postępującego ograniczania, ale również ich jakości (Portalsamorzadowy.pl, 2023a).

Jakość wody – problem niedostrzegany

Według raportu „Zasoby wodne w Polsce – ochrona i wykorzystanie” opracowanego na zlecenie fundacji „Przyjazny Kraj”, to właśnie nie ilość i dostępność wody stanowi w naszym kraju problem, ale przede wszystkim jej jakość. Polska posiada zasoby wody typowe dla naszej strefy klimatycznej – nawet jeśli występują niedobory, to mają one charakter lokalny lub przejściowy. Stan wód w Polsce pozostawia natomiast wiele do życzenia: 91,5 proc. jednolitych części wód powierzchniowych rzecznych, około 88 proc. jezior oraz blisko 100 proc. wód powierzchniowych przejściowych i przybrzeżnych pozostaje w złym stanie (Rączka i in., 2021).

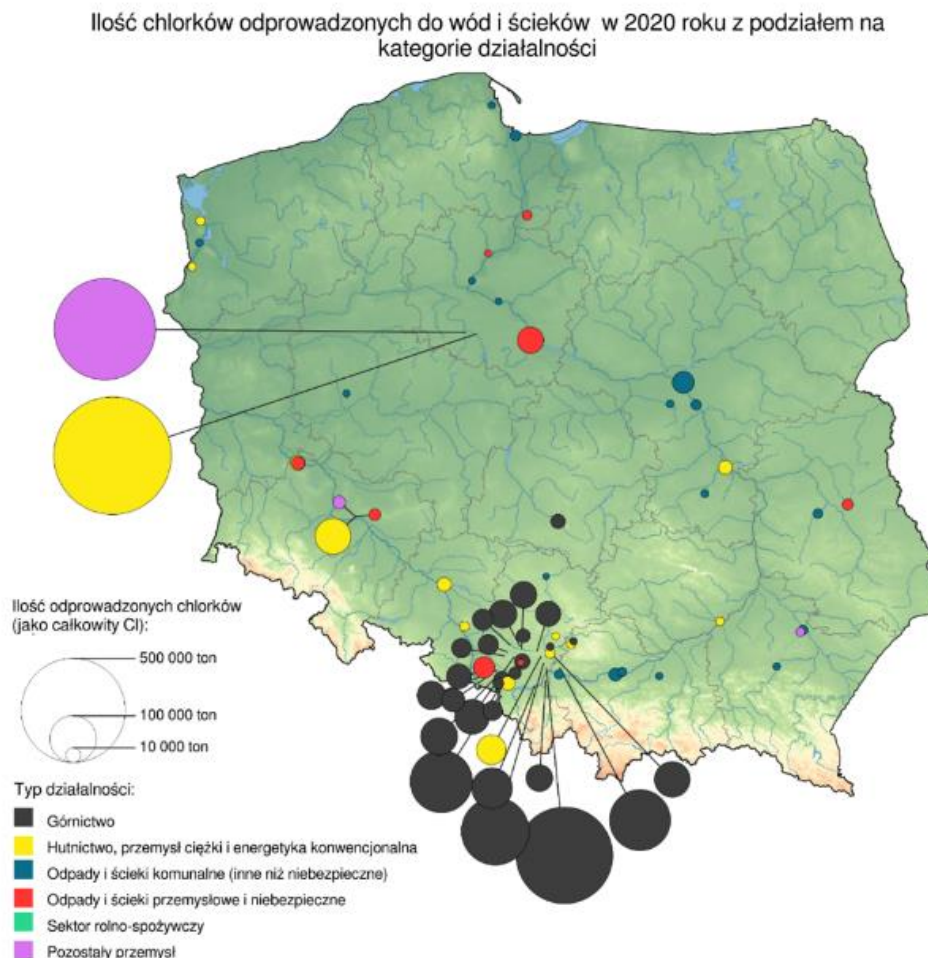
Zgodnie z zapisami Ramowej Dyrektywy Wodnej¹ stan wód powierzchniowych uznawany jest za dobry, jeżeli zarówno ich stan ekologiczny (oceniany pod względem elementów biologicznych i fizykochemicznych), jak i stan chemiczny (czystość wód) są dobre. Wystarczy jednak, by jeden ze wskaźników nie spełniał normy stanu dobrego, a stan całej jednolitej części wód zostanie sklasyfikowany jako zły (Rączka i in., 2021).

Przyczyny zasolenia wód

Zasolenie jest jednym z najprostszych do zmierzenia wskaźników jakości wody. Jeżeli wartość zasolenia wód jest podwyższona względem naturalnego tła hydrochemicznego, to stanowi to sygnał, że jakość wody obniża się i należy obserwować zmiany wartości innych wskaźników. Przyczyny okresowych

¹ Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.

wzrostów zasolenia są różnorodne i najczęściej wiążą się z działalnością człowieka: oddziaływaniem przemysłu, urbanizacją, zabezpieczeniem dróg przed gołoledzią, przyspieszonym wietrzeniem skał z powodu kwaśnych deszczów, stosowaniem nawozów w rolnictwie oraz wydobywaniem surowców kopalnych (Kaushal i in., 2021; Czupryniak i Zając, 2023). Według Fundacji WWF Polska, branżą odpowiedzialną za większość zrzutów soli (głównie chlorków) do wód w kraju – a więc za zasolenie wód rzecznych – jest górnictwo (51,2 proc. emisji łącznie) (Czupryniak i Zając, 2023; Rys. 1). Koresponduje to z danymi przytoczonymi przez portal Teraz Środowisko, według których każdego roku z sektora górniczego do polskich rzek trafia 4 mln ton soli, które są efektem odpompowywania wód z kopalni (Teraz Środowisko, 2022). Na drugim miejscu wśród sektorów mających największy wpływ na zasolenie rzek znalazły się hutnictwo, przemysł ciężki i energetyka konwencjonalna, natomiast na trzecim – pozostałe gałęzie przemysłu (w tym chemiczny oraz papierniczy) (Czupryniak i Zając, 2023).



Rys. 1. Ilość chlorków odprowadzonych do wód i ścieków w 2020 roku z podziałem na kategorie działalności.

Źródło: Czupryniak i Zając (2023).

Przemysł nie wyczerpuje jednak całości przyczyn. Okazuje się, że w wielu regionach świata dominującym czynnikiem prowadzącym do wzrostu zasolenia wód powierzchniowych jest stosowanie soli drogowej do odładzania dróg (Szklarek i in., 2022). Sól – w miastach stosowana jako środek przeciwdziałający oblodzeniom dróg i chodników – trafia najczęściej do zbiorczej kanalizacji deszczowej, zwiększając zasolenie ścieków oraz ich odbiorników). Badania przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych pokazały, że w miesiącach zimowych stężenie chlorków osiąga poziomy sięgające 25–40 proc. zasolenia wody morskiej (Kaushal i in., 2021) i pozostaje znacząco podwyższone przez cały rok. Autorzy tej pracy szacują, że nawet, gdyby zużycie soli drogowej spadło, jony soli nie zostałyby wypłukane przez dziesięciolecia (Kaushal i in., 2021). Do tego dochodzi stosowanie na coraz większą skalę w gospodarstwach domowych zmiękczaczy wody czy soli do zmywarek.

Rzeki – w wyniku występującego w nich specyficznego obiegu materii i energii – posiadają naturalną zdolność do samooczyszczania się (Ensign i Doyle, 2006). O ile w przypadku procesu przemian denitryfikacyjnych oraz wytrącania związków fosforu proces ten może być uznany za skuteczne narzędzie walki z zanieczyszczeniami (pod warunkiem dobrego stanu ekologicznego rzek), to jego skuteczność w ograniczaniu zasolenia jest znikoma. Powoduje to, że sól, dostająca się do wody rzecznej w obszarze jej źródła, jest transportowana ku jej ujściu w niemal niezmięnionej postaci. W przypadku występowania wzdłuż biegu kolejnych źródeł zasolenia (np. zrzutów wód pokopalnianych), oraz przy niestabilności hydrologicznej utrudniającej rozcieńczanie zanieczyszczeń (np. niżówki), zagrożenie negatywnymi skutkami wzrostu zasolenia znacząco wzrasta. Co więcej rosnące zasolenie wód rzecznych przy stężeniach chlorków na poziomie 2500 mg/L ogranicza skuteczność procesu samooczyszczania o ponad 90 proc. (Lancaster i in., 2016).

Negatywne skutki rosnącego zasolenia wód pogłębiają się pod wpływem coraz częściej notowanych wysokich temperatur, które są efektem zmian klimatycznych (van Vliet i in., 2013). Stanowią one czynnik podnoszący poziom zasolenia wód poprzez zwiększenie stężenia jonów soli w wyniku parowania. Zwiększają także ich toksyczność (Kaushal i in., 2021).

Do takiego zjawiska doszło na Odrze latem 2022 roku. Według raportu podsumowującego przyczyny tej katastrofy ekologicznej, oraz dostępnych opracowań naukowych (Czerniawski i in., 2024), spowodował ją szereg czynników, w tym: niski stan wód, wysokie temperatury oraz wysoki poziom zasolenia, które łącznie doprowadziły do zakwitów słonowodnych glonów *Prymnesium parvum*. Warto dodać, że zasolenie utrzymywało wysokie wartości nawet po zakończeniu sezonu letniego. 12 sierpnia 2022 roku – kiedy po zarejestrowaniu faktu katastrofy opublikowano pierwsze dane – w punkcie Kłodnica–Gliwice (na wysokości mariny) wynosiło ono 7200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 14 listopada w tym samym punkcie przekraczało 8000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Money.pl, 2022). Jednym z

powodów tak wysokiego zasolenia Odry mógł być zrzut wód z pobliskich kopalni, co sugerował m.in. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (Money.pl, 2022; Portal Komunalny, 2022).

Monitoring jakości wód kluczem do poprawy ich jakości?

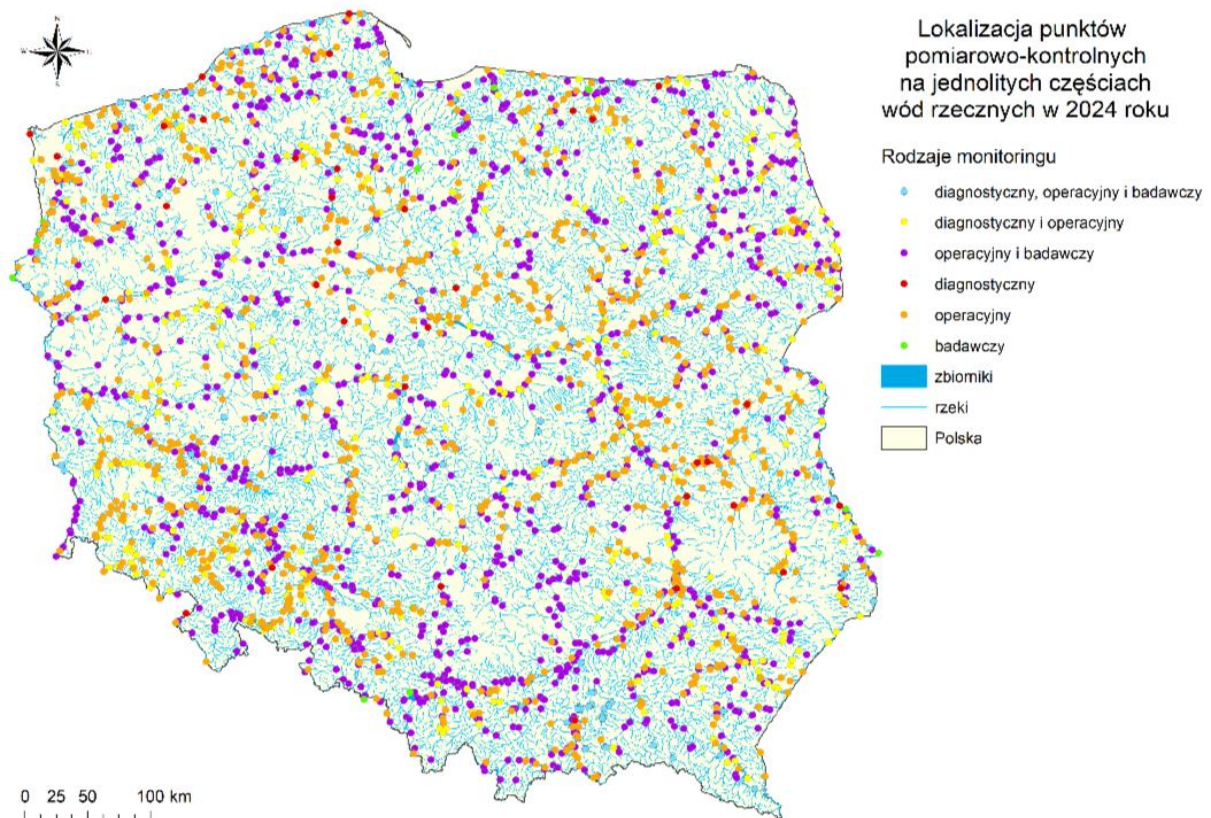
Według ekspertów, optymalnym rozwiązaniem mitygującym wystąpienie podobnych katastrof byłoby ograniczenie zrzutów zasolonych wód do rzek oraz renaturyzacja wód powierzchniowych (Biedroń i in., 2020; Sztuka ochrony wód b.d.). Ponieważ na wzrost zasolenia składa się rozwój przemysłu, stosowanie nawozów w rolnictwie czy soli drogowej, stąd – inaczej niż w przypadku zanieczyszczeń powietrza – osoby indywidualne mają ograniczony wpływ na jego powstawanie. Pomimo tego, negatywne konsekwencje nienaturalnego wzrostu zasolenia wód powierzchniowych dotyczą całego społeczeństwa.

Kampanie społeczne dotyczące jakości środowiska powinny opierać się na edukacji i budowaniu świadomości problemu, co w rezultacie ma prowadzić do podjęcia przez obywateli aktywnych działań właściwego zarządzania środowiskiem. Budowaniu świadomości sprzyja z kolei systematyczny monitoring stanu wód. O ile w Polsce jest on zinstytucjonalizowany (leży w gestii odpowiednich instytucji państwowych), o tyle Katastrofa Odrzańska pokazała, że pewne jego elementy wymagają usprawnienia i pełniejszej integracji (Fundacja WWF Polska b.d.). Monitorowanie stanu wód może mieć też charakter oddolny, a tzw. citizen science staje się coraz szerzej stosowanym podejściem w badaniach stanu wód (Ramírez i in., 2023).

Citizen science, czyli nauka obywatelska, to badania naukowe prowadzone z udziałem osób niebędących ekspertami (zawodowymi i profesjonalnymi naukowcami) (Uniwersytet Śląski w Katowicach, 2023). O rosnącej skali tego nurtu świadczą wnioski z dostępnych opracowań naukowych (Ramírez i in., 2023) obejmujących najważniejsze badania obywatelskie dotyczące monitorowania jakości wód powierzchniowych z perspektywy hydrologicznej oraz wykorzystanie pochodzących z nich danych. Większość z nich dotyczy jakości wody w ciekach, w dalszej kolejności – w jeziorach, i opiera się na bezpośrednim dokonywaniu pomiarów w zbiornikach wodnych. W niektórych uczestnicy zbierali próbki wody i wysyłali je do laboratoriów w celu dalszej analizy (Ramírez i in., 2023).

Citizen science, między innymi dzięki rozwojowi Internetu i nowoczesnych technologii informacyjnych służących do rozpowszechniania i gromadzenia informacji, staje się zarówno istotnym źródłem danych dla badań środowiska, jak i pomocą w ich analizie. Te oddolne działania – o ile zostaną przygotowane w przystępny i bezpieczny sposób – nie wymagają korzystania z zaawansowanych urządzeń czy aparatury badawczej, natomiast w znaczący sposób mogą wypełnić ten obszar zinstytucjonalizowanego systemu monitorowania wód powierzchniowych, który pozostaje niezagospodarowany. Na mocy rozporządzenia dotyczącego klasyfikacji stanu ekologicznego wód z 2021 roku

wycofano bowiem z niego badanie części wskaźników opisujących parametry fizykochemiczne wody, zaprzestając między innymi monitoringu chlorków i siarczanów, czyli głównych wskaźników opisujących zasolenie rzeki (Fundacja WWF Polska b.d.). W efekcie, już teraz można powiedzieć, że istnieją w Polsce zbiorniki wodne, dla których brakuje aktualnych danych pokazujących ich zasolenie.



Rys 2. Lokalizacja punktów pomiaru jakości wody w Polsce w 2024 r. w ramach monitoringu nadzorowanego przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska.

Źródło: GIOŚ.

Zasolenie wody, mierzone przewodnością elektrolityczną właściwą/ elektroprzewodnością (ang. electrical conductivity; EC) i oznaczaną w mikrosimensach na centymetr – jest jednym z podstawowych parametrów oceny stanu wód dokonywanej w terenie lub w laboratorium (Polska Agencja Prasowa, 2023). Choć zasolenie wody wskazuje na zawartość rozpuszczonych w niej substancji mineralnych i nie jest bezpośrednią miarą zanieczyszczenia, to jest traktowane jako wskaźnik jakości wody, a na jego podstawie, znając wartości tła hydrochemicznego, można określać wartości innych parametrów, które w danej sytuacji mogą wymagać przebadania (Horiguchi i in., 2023; Rusydi, 2017).

Aguard® – proste podejście do pomiaru zasolenia

Pomysł wykorzystania zjawiska przewodności elektrycznej wody wynikającej z poziomu zasolenia, wykorzystaliśmy przy skonstruowaniu urządzenia, które pozwala w prosty sposób ocenić jakość wody. Nasz spławik Aguard® mierzy elektroprzewodność wody, a w połączeniu ze specjalnie opracowaną aplikacją na urządzenia mobilne, daje możliwość:

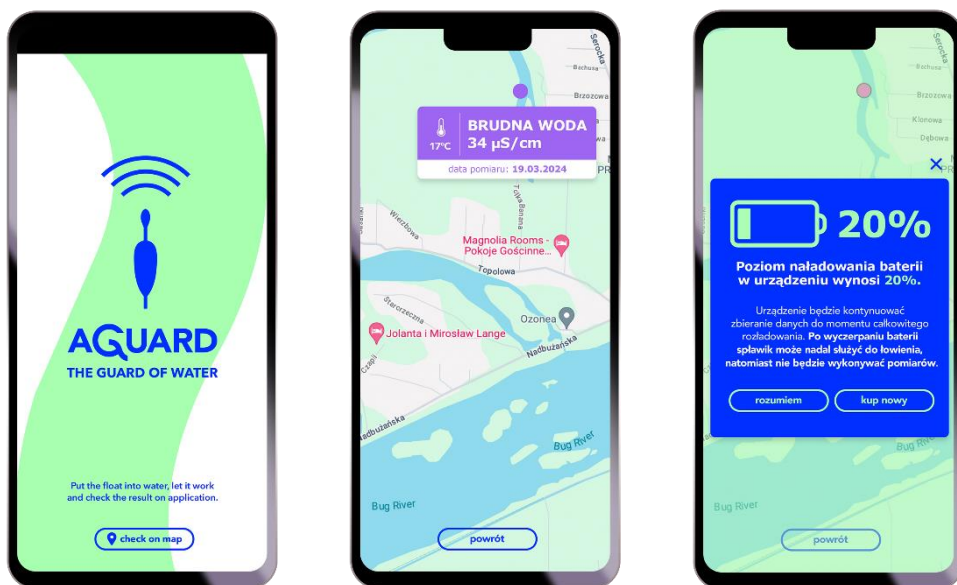
- określenia zasolenia i temperatury wody,
- oceny, czy wartość zmierzonego wskaźnika mieści się w dopuszczalnych kategoriach normy dla tego parametru
- zarchiwizowania pomiaru i przekazania go do bazy danych.

Przewodność elektrolityczną właściwą oznacza się dla przybliżonej oceny stopnia mineralizacji wody oraz jej zanieczyszczenia. Jest ona tym większa, im więcej znajduje się w niej jonów – zarówno kationów (sodu – Na^+ , magnezu – Mg^{2+} , wapnia – Ca^{2+} , jonów amonowych – NH_4^+ , potasu – K^+ , żelaza – Fe^{2+} , Fe^{3+}), jak i anionów (chlorków – Cl^- , siarczanów – SO_4^{2-} , wodorowęglanów – HCO_3^- i węglanów – CO_3^{2-} , azotanów – NO_3^- , azotynów – NO_2^- , krzemianów – HSiO_3^-). Z kolei mała ilość rozpuszczonych soli daje niskie wartości przewodności elektrolitycznej właściwej. Rodzajem wody, która dobrze przewodzi prąd, jest woda morska. Z kolei woda destylowana i deszczowa posiadają niską przewodność elektrolityczną. Polskie normy wskazują, że dopuszczalna wartość przewodności wody słodkiej powinna wynosić maksymalnie $2500 \mu\text{S}/\text{cm}^2$.

W spławiku Aguard® zainstalowano mikrouządzenie oparte o mikrokontroler, Bluetooth low energy, baterię i sensor, który wytwarza napięcie elektryczne w wodzie. W wyniku tego, przepływa przez niego prąd, którego natężenie i napięcie zależy od przewodności, a sensor utrzymuje stałą jego wartość i ocenia zmianę napięcia. Im więcej substancji zostało rozpuszczonych w wodzie, tym większa jest jej przewodność elektrolityczna, co najczęściej oznacza zanieczyszczenie. Zastosowana w urządzeniu aplikacja natychmiast przesyła wyniki pomiarów do centralnej bazy danych. Baza danych jest aktualizowana w trybie ciągłym i koordynowana przez czuwający nad procesem archiwizacji i analizy zespół hydrologów ze Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

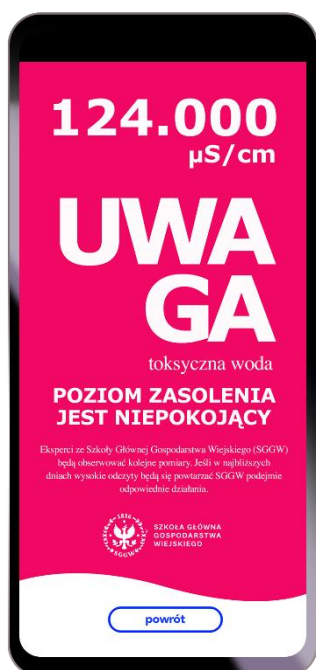
Aplikacja Aguard® jest dostępna zarówno na App Store jak i na Google Play. Wystarczy pobrać ją na telefon, tablet lub komputer, włączyć Bluetooth oraz funkcję lokalizacji telefonu, by w momencie zanurzenia spławika w wodzie, uruchomiła się i wyświetliła wynik pomiaru (Rys. 3-5). Automatycznie jest on zapisywany w bazie danych i dostępny na mapie wraz z wartością pomiaru i jego datą.

² 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.



Rys. 3, 4, 5. Przykładowe screeny z aplikacji Aguard® – ekran startowy, ekran pomiaru, ekran poziomu naładowania baterii.

Jeśli wynik pomiaru wskaże na przekroczenie norm zasolenia, w aplikacji pojawi się alert (Rys. 6), który będzie także widoczny dla naukowców z SGGW. To właśnie oni będą odpowiedzialni za archiwizację pomiarów, monitorowanie ich i ewentualne działania zmierzające do ograniczenia zagrożenia.



Rys. 6. Przykład screeny aplikacji Aguard – alert wysokiego pomiaru zasolenia.

Zastosowanie spławika do pomiaru jakości wód powierzchniowych jest typowym przykładem citizen science. Urządzenie jest łatwe w użyciu i pozwala

w prosty sposób zebrać dane właściwie każdemu użytkownikowi niebędącemu ekspertem. Sukces badania zależy natomiast od jego skali – im więcej zbiorników wodnych i jednolitych części wód powierzchniowych zostanie przebadanych, tym bardziej kompletny będzie zbiór danych.

Urządzenie Aguard® jest efektem współpracy kilku podmiotów. Pomysłodawcą urządzenia i koncepcji analizy jakości wody jest agencja Havas Creative Network. Naukowcy ze Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie są autorami koncepcji pomiaru elektroprzewodności. Twórcą prototypu, opracowanego na podstawie koncepcji urządzenia i charakterystyki pomiaru, jest Szymon P. Pepliński. Wszystkie wymienione wyżej podmioty uczestniczyły w opracowaniu aplikacji Aguard® (kreacja – Havas Creative Network; konsultacje naukowe – SGGW w Warszawie; stworzenie i wdrożenie aplikacji Szymon P. Pepliński). Na dalszych etapach realizacji projektu w działaniach brały również udział dwie polskie firmy: Expert Float – producent sprzętu wędkarskiego, który będzie wprowadzać produkt na rynek oraz e-Gminy – wykonawca zminiaturyzowanych modułów pomiarowych do spławika. Koncepcja pomiarów poziomu zasolenia wód z zastosowaniem sprzętu wędkarskiego powstała w ramach współpracy Banku BNP Paribas, wspierającego inicjatywy ekologiczne oraz dwóch agencji: Havas Creative Network i Publicis Worldwide Poland.



Rys. 7. Spławik Aguard®.

Następne kroki

Na podstawie danych zebranych przy wykorzystaniu spławika będzie można wskazać zbiorniki wodne, w których przewodność elektrolityczna właściwa, a co za tym idzie zasolenie, jest wysokie i wymaga dalszych badań, a potencjalnie także działań naprawczych. Zebrane dane zostaną opublikowane w formie raportu, który zademonstruje, w jaki sposób dzięki społecznemu monitoringowi wód powierzchniowych w Polsce można uzupełnić dane o wysokości zasolenia dla miejsc, dla których do tej pory takich informacji brakowało.

BIBLIOGRAFIA

Źródła naukowe

- Biedroń, I., Brzóska, P., Dondajewska-Pielka, R., Furdyna, A., Gołdyn, R., Grygoruk, M., Grześkowiak, A., Horska-Schwarz, S., Jusik, Sz., Kłósek, K., Krzymiński, W., Ligęza, J., Łapuszek, M., Okrański, K., Pawlaczyk, P., Przesmycki, M., Popek, Z., Szalkiewicz, E., Suska, K. i Żak, J., 2020. *Renaturyzacja wód – podręcznik dobrych praktyk renaturyzacji wód powierzchniowych*, Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa, https://www.wody.gov.pl/images/Aktualnosci/foto/renaturyzacjaKPRWP/Podrecznik_renaturyzacji.pdf [dostęp: 21.02.2024].
- Czerniawski, R., Horska-Schwarz, S., Grygoruk, M., Sługocki, Ł., Szklarek, S., Kobos, J. i Humiczewski, M., 2024. *Odra – funkcjonowanie w czasach konfliktów społecznych i gospodarczych na tle kryzysu klimatycznego*, *Gospodarka Wodna*, nr 2(902), 18–27. <https://doi.org/10.15199/22.2024.2.3>
- Czupryniak, K. i Zając, K., *Rzeki solą płynące*, Fundacja WWF Polska, https://www.wwf.pl/sites/default/files/inline-files/Rzeki_sola_plynace_raport_FINAL.pdf [dostęp: 20.02.2024].
- Duan, S. i Kaushal, S.S., 2015. *Salinization alters fluxes of bioreactive elements from stream ecosystems across land use*, *Biogeosciences*, 12, 7331–7347. <https://doi.org/10.5194/bg-12-7331-2015>
- Ensign, S.H. i Doyle, M.W., 2006. *Nutrient spiraling in streams and river networks*, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 111. <https://doi.org/10.1029/2005JG000114>
- Kaushal, S.S, Likens, G.E., Pace, M.L., Reimer, J.E., Maas, C.M., Galella, J.G., Utz, R.M., Duan, Sh., Kryger, J.R., Yaculak, A.M., Boger, W.L., Bailey, N.W.,

Haq, Sh., Wood, K.L., Wessel, B.M., Park, C.E., Collison, D.C., Y'aaqob, B., Aisin, I., Gedeon, T.M., Chaudhary, S.K., Widmer, J., Blackwood, Ch.R., Bolster, C.M., Devilbiss, M.L., Garrison, D.L., Halevi, Sh., Kese, G.Q., Quach, E.K., Rogelio, Ch.M.P., Tan, M.L., Wald, H.J.S. i Woglo, S.A., 2021. *Freshwater Salinization Syndrome: Emerging Global Problem and Risk Management*, *Biogeochemistry* 154 (2), 255–292. <https://doi.org/10.1007/s10533-021-00784-w>

Horiguchi, H., Shigemura, K., Kitakawa, M., Nakazawa, M., Noyori, T., Inoue, M., Onishi, R., Moriwaki, M., Yoshimura, Ch., Kobayashi, M. i Suzaki, T., 2023. *Electrical Conductivity as an Indicator to Assess the Suitability of River Water for Recreational Use*, *Journal of Water and Environment Technology*, 21, 204-212. <https://doi.org/10.2965/jwet.22-127>

Lancaster, N.A., Bushey, J.T., Tobias, C.R., Song, B. i Vadas, T.M., 2016. *Impact of chloride on denitrification potential in roadside wetlands*, *Environmental Pollution*, 212, 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.068>

Ramírez, S.B., van Meerveld, I. i Seibert, J., 2023. *Citizen science approaches for water quality measurements*, *Science of The Total Environment*, 897: 165436. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165436>

Rączka, J., Skąpski, K. i Tyc, T., 2021. *Zasoby wodne w Polsce – ochrona i wykorzystanie*, Fundacja Przyjazny Kraj, Warszawa. http://przyjaznykraj.pl/wp-content/uploads/2021/06/Fundacja_Przyjazny_Kraj_Raport_Zasoby-wodne-w-Polsce_29062021.pdf [dostęp: 21.02.2024].

Rusydi, A.F., 2017. *Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review*, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 118, 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012019>

Szklarek, S., Górecka, A. i Wojtal-Frankiewicz, A., 2022. *The effects of road salt on freshwater ecosystems and solutions for mitigating chloride pollution – A review*, *Science of the Total Environment*, 805: 150289. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150289>

van Vliet, M.T.H., Franssen, W.H.P., Yearsley, J.R., Ludwig, F., Haddeland, I., Lettenmaier, D.P. i Kabat, P., 2013. *Global river discharge and water temperature under climate change*, *Global Environmental Change*, 23, 450-464. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.11.002>

Varaden, D., Leidland, E., Lim, S. i Barratt, B., 2021. "I am an air quality scientist" – Using citizen science to characterise school children's exposure to air pollution, *Environmental Research*, 201: 111563.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111536>

Prasa

Fundacja WWF Polska, b.d. *Monitoring rzek w Polsce. Fikcja czy rzeczywistość?*, <https://www.wwf.pl/monitoring-rzek-w-polsce> [dostęp: 20.02.2024].

Green-news.pl, 2020. *Miała być susza, są podtopienia. O co tu w ogóle chodzi?*, <https://www.green-news.pl/1127-miala-byc-susza-sa-podtopienia-o-co-tu-chodzi> [dostęp: 15.03.2024].

Money.pl, 2022. *Na Odrze znów może dojść do katastrofy. Wskaźnik przekroczony dziesięciokrotnie*, <https://www.money.pl/gospodarka/na-odrze-znow-moze-dojsc-do-katastrofy-wskaznik-przekroczony-dziesieciokrotnie-6836330446883520a.html> [dostęp: 21.02.2024].

Polska Agencja Prasowa, 2023. *Jak przebiega stały monitoring Odry? GIOŚ zademonstrował pracę systemu*, <https://www.pap.pl/aktualnosci/news%2C1595875%2Cjak-przebiega-staly-monitoring-odry-gios-zademonstrowal-prace-systemu> [dostęp: 21.02.2024].

Portal Komunalny, 2022. *Niemcy alarmują: poziom zasolenia Odry tak duży jak podczas letniej katastrofy*, <https://portalkomunalny.pl/niemcy-alarmuja-poziom-zasolenia-odry-tak-duzy-jak-podczas-letniej-katastrofy-531718/> [dostęp: 21.03.2024].

Portalsamorzadowy.pl, 2023. *To nie puste słowa. W Polsce może zabraknąć wody*, <https://www.portalsamorzadowy.pl/ochrona-srodowiska/to-nie-puste-slowa-w-polsce-moze-zabraknac-wody,463311.html> [dostęp: 15.03.2024].

Portalsamorzadowy.pl, 2023a. *Kryzys wodny coraz bardziej się pogłębia. Skala wyzwań niebezpiecznie rośnie*, <https://www.portalsamorzadowy.pl/gospodarka-komunalna/kryzys-wodny-coraz-bardziej-sie-poglebia-skala-wyzwan-niebezpiecznie-rosnie,495634.html> [dostęp: 15.03.2024].

Sztuka ochrony wód, b.d. *Jakość wody w Polsce – gdzie tkwią największe zagrożenia?*, <https://blog.ecol-unicon.com/jakosc-wody-polsce-stan-2021/> [20.02.2024].

Teraz Środowisko, 2022. *Zasolenie Wisły może generować koszt nawet 250 mln dolarów rocznie. Są rozwiązania*, <https://www.teraz-://srodowisko.pl/aktualnosci/zasolenie-rzeki-scieki-odsalania-projekt-Zero-Brine-wyniki-11391.html> [dostęp: 20.02.2024].

Uniwersytet Śląski w Katowicach, 2023. *Citizen science – zaangażuj się w rozwój nauki!*, <https://us.edu.pl/citizen-science-zaangazuj-sie-w-rozwoj-nauki/> [dostęp: 21.02.2024].