



Monitorowanie jakości wody za pomocą czujników Doświadczenia z cieków Europy Północnej

Zmiany w użytkowaniu gruntów oraz zmiana klimatu wpływają na zasoby wodne na wiele sposobów, mogąc skutkować użyźnieniem (eutrofizacją) wód powierzchniowych, zwiększonym ładunkiem osadów oraz innych zanieczyszczeń (np. metali ciężkich, zanieczyszczeń organicznych i innych substancji niebezpiecznych). W związku z tym narasta potrzeba monitorowania reakcji jakości wody zarówno na presję ze strony człowieka, jak i na stosowane przezeń działania łagodzące. Jednocześnie jakość wody, zwłaszcza w ciekach, charakteryzuje się gwałtownymi zmianami w czasie, co może oznaczać utratę informacji podczas pobierania próbek wody w odstępach miesięcznych, dwutygodniowych lub nawet tygodniowych. Rozwiązanie tego problemu może przynieść technologia czujników, która umożliwi częsty monitoring wybranych substancji i przekazywanie danych w czasie rzeczywistym, przy stosunkowo niskich kosztach. W niniejszym poradniku, skierowanym głównie do zarządców wód, przedstawiamy przegląd zalet i wyzwań związanych z monitorowaniem jakości wód za pomocą czujników i ich różnorodnym zastosowaniem.

Monitorowanie jakości wody w celu oceny jej stanu i trendów jest bardzo istotne ze względu na rosnący wpływ działalności człowieka na zasoby wodne. Pogorszenie jakości wody może mieć wpływ na funkcjonowanie społeczeństw, ponieważ jesteśmy zależni od czystej wody do picia, nawadniania, przetwórstwa przemysłowego, rekreacji, a także utrzymania zdrowych ekosystemów.

Czujnik monitorujący jakość wody to urządzenie, które można umieścić w ciekach, jeziorach, studniach wód gruntowych lub wodach przybrzeżnych w celu badania zestawu parametrów jakości w czasie rzeczywistym.

Niniejszy przewodnik skierowany jest do menedżerów zajmujących się jakością wody na poziomie lokalnym, regionalnym i krajowym.

Zebrałiśmy informacje na temat doświadczeń z czujnikami od naukowców i menedżerów w krajach Europy Północnej. Przeprowadziliśmy wywiady z interesariuszami i menedżerami na różnych szczeblach na temat ich doświadczeń na temat wykorzystania tej technologii. Prezentujemy również, w jaki sposób czujniki mogą być zastosowane w nauce.

Zachęcamy do śledzenia efektów naszej pracy na stronie internetowej [NORDBALT-ECOSAFE's web-page](#).

Projekt Nordbalt-Ecosafe bada zalety i wady monitorowania jakości wód za pomocą czujników w odniesieniu do tradycyjnego monitorowania polegającego na poborze próbek wody i wykonywaniu analiz laboratoryjnych, ze szczególnym uwzględnieniem wymogów monitorowania w celu wdrożenia Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW) UE. Partnerzy Nordbalt-Ecosafe pochodzą z Danii (lider), Norwegii, Szwecji, Finlandii, Łotwy i Polski.

Czujniki mogą monitorować	Może być substytutem dla
Mętność	Osad, Fosfor
Azotany	Inne frakcje azotu
Temperatura	
Przewodność	
Rozpuszczony węgiel organiczny	Całkowity węgiel organiczny
Tlen rozpuszczony	
CO ₂ *	Głębokość wody / przepływ wody
Głębokość/ciśnienie	
pH	
Chlorofil-a	
Fikocyjanina	Chlorofil-a
Rozpuszczone metale	Metale ogółem?

Zalety czujników

Czujniki mają kilka zalet w porównaniu ze zwykłym pobieraniem próbek wody. Najistotniejsza jest wysoka częstotliwość pomiaru (nawet co 10-30 minut) przy stosunkowo niskich kosztach. Poza tym czujniki mogą:

- dostarczać dane w czasie rzeczywistym w celu wczesnego wykrywania obecności zanieczyszczeń,
- wykrywać zdarzenia z wysokimi stężeniami, które w przeciwnym razie zostałyby pominięte,
- informować, czy wysokie stężenie wykryte w jednej próbce wody utrzymywało się przez długi czy krótki czas,
- wykrywać trendy, a tym samym oceniać skutki działań łagodzących oddziaływanie na środowisko,
- poprawić dokładność szacowania ładunków zanieczyszczeń,
- pomóc w dokładniejszej identyfikacji źródeł zanieczyszczeń,
- być wykorzystane w systemach wczesnego ostrzegania (np. za pomocą alarmu na telefon komórkowy) o stężeniach przekraczających określone progi,
- poprawić nasze zrozumienie wpływu zmian klimatycznych na stan wód (np. temperaturę wody, mętność, zawartość składników odżywczych i poziom eutrofizacji).

Zwłaszcza w ciekach o gwałtownych wahaniami stężeń i przepływu, czujniki mogą dostarczać dokładniejszych danych na temat stanu i trendów, a także poprawić nasze zrozumienie procesów zachodzących w zlewni.

Tabela po lewej stronie przedstawia parametry, które czujniki mogą monitorować (lewa kolumna) lub zastępować (prawa kolumna). Wraz z rozwojem czujników spodziewane jest rozszerzenie palety parametrów. Jednak niektóre parametry, które są istotne przy wdrażaniu RDW, nie mogą (przynajmniej na razie) być monitorowane przez czujniki, m.in. fosfor ogólny, azot ogólny, ortofosforany lub całkowity węgiel organiczny. Istnieje jednak możliwość zastosowania zamienników, ale potrzebne są dalsze badania nad tym, jak dokładne będzie to w różnych typach wód.

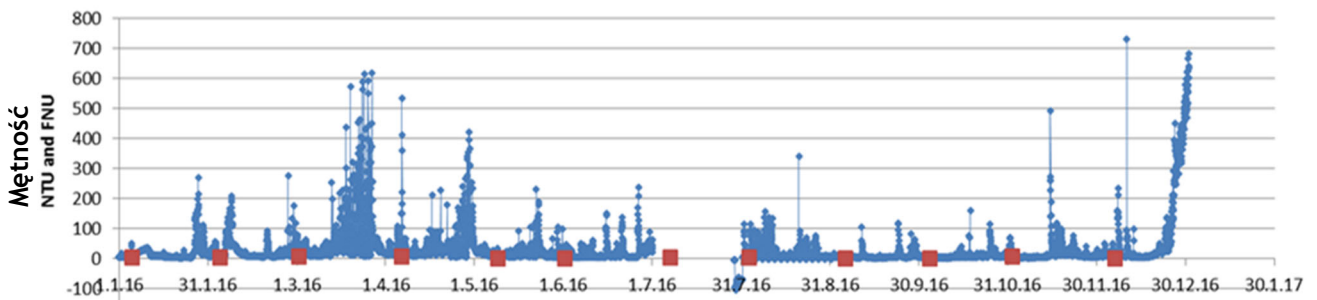
Trudności związane z czujnikami

Czujniki mają również pewne ograniczenia. Na przykład:

- mogą monitorować tylko ograniczoną liczbę parametrów, a zatem czasami zamiast rzeczywistego parametru można monitorować tylko jego zamiennik,
- w celu uzyskania krzywej korelacji wysokiej jakości niezbędne jest pobranie i przebadanie próbek wody zebranych przy różnych stężeniach
- mogą wiązać się z dodatkowymi kosztami konserwacji, takimi jak czyszczenie (lub nawet wymiana) soczewek,
- mogą nie rejestrować wysokich stężeń powyżej maksymalnego rejestrowanego poziomu,
- mogą być trudne w użyciu w niektórych typach wód, gdzie korelacja między zapisami czujnika a parametrami z próbek wody jest słaba,
- mogą być trudne w obsłudze zimą ze względu na mróz i dryf lodu.

Oprócz powyższych trudności, brak jest harmonizacji metod związanych z monitorowaniem za pomocą czujników (patrz strona 4), przez co dane z czujników pochodzące z różnych programów monitoringu nie mogą być łatwo porównywane. Należy również podkreślić, że czujniki generują duże ilości danych, które muszą być kontrolowane pod względem jakości i przechowywane w bezpieczny sposób.

Dane z czujników mogą być przesyłane przez rejestrator, a następnie do komputera, w celu uzyskania danych w czasie rzeczywistym. Wymaga to połączenia mobilnego i źródła zasilania, którym może być ogniwo słoneczne i bateria lub zwykłe źródło energii elektrycznej. W ten sposób zainteresowani mogą uzyskać dostęp, a następnie mieć społeczną kontrolę nad jakością wody w pobliskich ciekach i zbiornikach.



Powyższy wykres ilustruje, że mętność mierzona za pomocą próbek wody pobieranych co miesiąc (czerwone kwadraty) może znacząco odbiegać od poziomów mierzonych za pomocą czujnika mętności (niebieskie kropki i linie). Dane z rzeki Alna w Oslo. Źródło: Skarbøvik et al. (2017).

Czujniki w badaniach naukowych

Naukownicy od dawna korzystają z technologii czujników ze względu na wiele możliwości lepszego wglądu w procesy takie jak mobilizacja, transport i osadzanie zanieczyszczeń. Dane z czujników są powszechnie wykorzystywane do:

- poprawy dokładności obliczeń ładunku zanieczyszczeń w ciekach;
- lepszego zrozumienia procesów zachodzących w zlewni, takich jak erozja, wymywanie, transport i sedimentacja;
- wspierania badań modelowania zlewni;
- monitorowania wartości progowych w ciekach.

Opinie interesariuszy na temat czujników

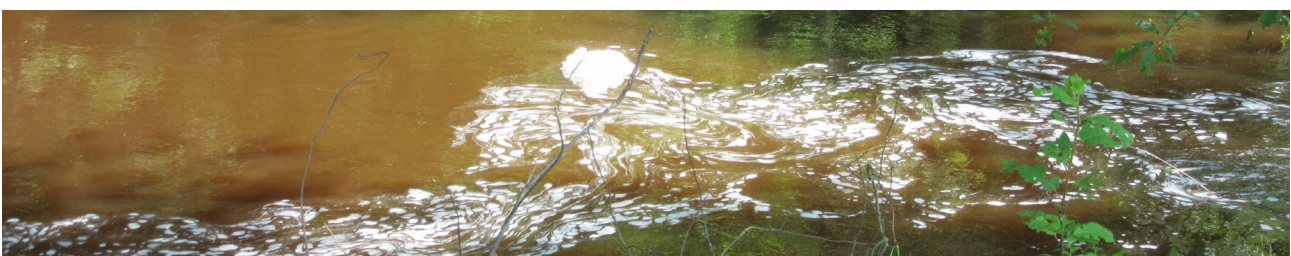
W ramach projektu NORDBALT-ECOSAFE przeprowadzono wywiady z interesariuszami ze wszystkich sześciu krajów objętych projektem, w tym z zarządcami wód na różnych szczeblach (więcej informacji w [dokumencie WP7](#)).

Zdecydowana większość interesariuszy uznała, że dokładne szacunki stężeń składników odżywczych mają duże znaczenie dla wdrażania RDW oraz że pożądane byłoby częstsze uzyskiwanie danych z zastosowaniem tej technologii. Prawie wszyscy interesariusze uważali, że dostęp do danych o jakości/ilości wody w czasie rzeczywistym byłby interesujący dla osób mieszkających w zlewni. Wśród przeszkód stojących na drodze do spopularyzowania czujników najwyżej oceniono koszty inwestycji i czas wymagany na przeprowadzenie konserwacji.

Czujniki w krajowym monitoringu

W Danii, Finlandii, Polsce i Łotwie czujniki nie są jeszcze częścią krajowych programów monitorowania, chociaż w niektórych krajach istnieją [strategie](#) wprowadzania czujników. Na przykład Finlandia opracowała taką strategię i obecnie 11 rzek w południowo-zachodniej części kraju jest monitorowanych za pomocą czujników. Szwecja stosuje czujniki w regularnych stacjach monitoringu od 2017 r., a obecnie funkcjonują one w siedmiu lokalizacjach (Fölster i in., 2019). W Norwegii monitorowanie za pomocą czujników jest stosowane w sześciu (z 20) rzek w ramach krajowego programu monitorowania rzek (Kaste i in., 2022).

Wywiady z przedstawicielami krajowymi w sześciu krajach NORDBALT-ECOSAFE wykazały, że zarządcy wód są w dużej mierze świadomi zalet, jak i wad czujników, ale z zadowoleniem przyjęliby więcej informacji na ten temat. Dlatego też naszym celem jest zapewnienie, że więcej praktycznych doświadczeń i wiedzy na temat monitorowania wód za pomocą czujników będzie dostępnych za pośrednictwem naszej strony internetowej.



Porównanie danych z czujników

Działania dotyczące czujników realizowane w projekcie NORDBALT-ECOSAFE są pod wieloma względami kontynuacją wcześniejszej współpracy, w ramach której naukowcy z krajów północnoeuropejskich porównywali dane dotyczące mętności z czujników z próbkami wody analizowanymi pod kątem stężenia zawiesiny ogólnej. Dane zebrano z 31 stacji, obejmujących 11 różnych programów monitorowania. Dało to nowe spojrzenie na temat monitorowania wód za pomocą czujników, które podsumowaliśmy poniżej:

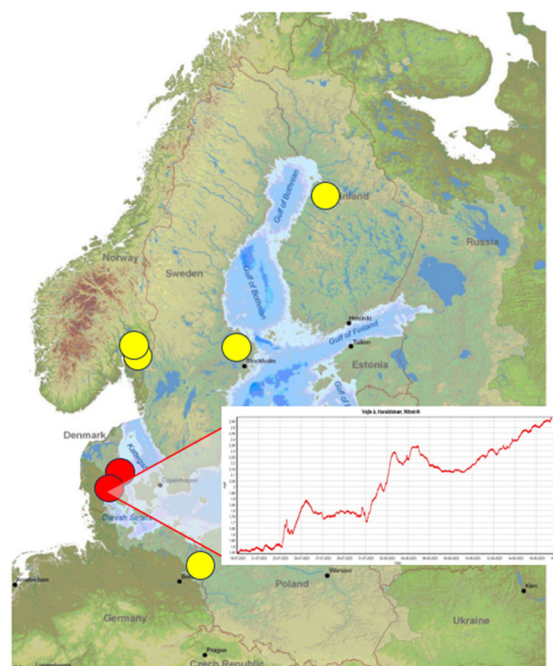
1. Słaba harmonizacja metodyki utrudniła porównanie danych z czujników pochodzących z różnych programów monitorowania. Obejmowało to różnice zarówno w sposobie, w jaki różne marki czujników rejestrowały mętność, jak i różnice w metodach stosowanych w regularnym programie pobierania próbek wody i analizach laboratoryjnych.
2. Najwyższą korelację między mętnością a stężeniem zawiesiny ogólnej (SZO) stwierdzono w ciekach rolniczych odwadniających zlewnie z przewagą gleb gliniastych, mulistych lub piaszczystych.
3. Niższe wartości korelacji między mętnością a SZO stwierdzono w ciekach odwadniających zlewnie zalesione, zatorfione oraz z przewagą gruboziarnistych typów gleby.
4. Korelacje były najwyższe w przypadkach gdy średnia i maksymalna wartość SZO wynosiły powyżej 30 i 200 mg/l, a średnia i maksymalna mętność powyżej 60 i 200 NTU/FNU. Występowały jednak znaczne różnice. Wyniki potwierdzają zalecenie przygotowania oddzielnej krzywej kalibracyjnej między mętnością a stężeniem zawiesiny ogólnej dla każdego cieku, przynajmniej tak długo, jak metody będą się różnić i dopóki nie będzie można uzyskać większej wiedzy z programów monitorowania wykorzystujących podobne metodyki.

Autorzy: Norwegia: Eva Skarbøvik; Anastasija Isidorova, Dania: Brian Kronvang, Sofie van der Veen; Szwecja: Emma Lannergaard, Jens Fölster; Finlandia: Ahti Lepistö, Pasi Valkema; Polska: Ignacy Kardel; Łotwa: Ainis Lagzdins.

Konsorcjum NORDBALT-ECOSAFE opracuje i zademonstruje innowacyjne metody oraz ustanowi najlepsze praktyki w celu poprawy obecnego gospodarowania wodami w dorzeczeniach poprzez osiągnięcie następujących głównych celów: (i) ustalenie ekologicznie bezpiecznych granic substancji biogennej w różnych typach jednolitych części wód; (ii) poprawa monitorowania stężeń substancji biogennej poprzez porównanie korzyści płynących z zastosowania nowatorskich czujników o wysokiej częstotliwości pomiaru z tradycyjnym monitorowaniem; (iii) ustalenie punktów krytycznych obciążenia substancjami biogenymi dla pochłaniania i emisji dwutlenku węgla w jednolitych częściach wód; (iv) ustanowienie zharmonizowanego narzędzia do modelowania dorzeczy w celu dokładnego oszacowania źródeł, ścieżek i transportu substancji biogennej; (v) zademonstrowanie nowatorskich rozwiązań opartych na zasobach przyrody (NBS) i działań łagodzących (MM) w celu osiągnięcia wymaganych poziomów redukcji ładunków substancji biogennej; oraz (vi) opracowanie zaawansowanych rozwiązań wspierających regionalne struktury zarządzania wodami w celu wdrożenia najbardziej odpowiednich działań zapewniających nieprzekraczanie ekologicznie bezpiecznych progów dla substancji biogennej. <https://projects.au.dk/nordbalt-ecosafe>

Demonstration sites in Nordbalt-Ecosafe

In each of the six countries, Nordbalt-Ecosafe will have demonstration sites where stakeholders can check the status of the water quality in real time, through our web page. The service will open by February 2024, but two streams in Denmark are already on-line.



Mapa stacji, z których dane są (czerwone kropki) lub wkrótce będą (żółte kropki) dostępne online i w czasie rzeczywistym.

Literatura

- Fölster et al. 2019. Sensorer för vattenkvalitet i miljöövervakning av vattendrag - Hur användbara är de i praktiken? SLU, Vatten och miljö: Rapport 2019:10.
- Kaste et al. 2022. The Norwegian river monitoring programme 2021 – water quality status and trends. NIVA Report 7760.
- Skarbøvik et al. 2017. Riverine Inputs and Direct Discharges to Norwegian Coastal Waters, 2016. Norw. Environ. Agency Rep. M862
- Skarbøvik et al. 2023. Comparing in situ turbidity sensor measurements as a proxy for suspended sediments in North-Western European streams, *CATENA*, 225, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107006>