



Podstawy metodyczne i formalno-prawne rozpoznania stanu chemicznego osadów wodnych w Polsce i na świecie

Irena Agnieszka Wysocka¹, Paulina Kostrz-Sikora¹, Łukasz Wojcieszak¹



I.A. Wysocka



P. Kostrz-Sikora



Ł. Wojcieszak

Methodological, formal and legal framework for recognizing the chemical status of water sediments in Poland and in the world. *Prz. Geol.*, 72: 377–390; doi: 10.7306/2024.20

Abstract. Human activity affects both the quantity and quality of sediments of inland water reservoirs, and the increase in chemical pressure and exceeded environmental quality standards are commonly observed in alluvium. Because most of the chemicals released into the aquatic environment are successively adsorbed on bottom sediments, their monitoring is an important element of rational management and protection of the aquatic environment. Moreover, understanding the actual dynamics of pollutants in water systems and the resulting threats to the environment can

only be achieved through appropriate actions based on standardized sampling procedures, reference measurement methods, and well-balanced criteria for assessing sediment quality. Although the results of sediment analyses are often presented in studies on the assessment of environmental pollution with harmful chemical substances, both the methods of these studies, as well as the issues of managing the risk caused by contaminated sediments, have not yet been harmonized either on a global scale or even at the European level. Many European countries still lack coherent and harmonized guidelines to recognize the chemical status of aquatic sediments, and only some of them have formally sanctioned regulations governing sediment quality monitoring. In this article we discuss the methodological, formal and legal framework for recognizing the chemical status of water sediments in Poland and in the selected countries around the world.

Keywords: sediments of inland water reservoirs, sediment quality assessment, chemical contamination, legal framework

Od kilkudziesięciu lat zarówno organizacje krajowe, jak i międzynarodowe zajmujące się kwestiami zanieczyszczenia środowiska podejmują działania mające na celu wypracowanie optymalnej strategii badania osadów wodnych. Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO, *International Organization for Standardization*) definiuje osad jako materię osadzającą się na dnie zbiornika wodnego, która może być transportowana w wodzie zanim nastąpi jej depozycja. Proces sedymentacji zawiesziny niesionej przez wodę zachodzi pod wpływem grawitacji (ISO, 2021). Zgodnie z terminologią stosowaną przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ) i Główny Urząd Statystyczny (GUS) osady denne są określane jako materia mineralna i organiczna zalegająca na dnie zbiorników, która dostała się tam w wyniku sedymentacji (GIOŚ, 2024; GUS, 2024). W niniejszym artykule termin „osady śródlądowych zbiorników wodnych (osady rzek, strumieni, potoków, kanałów, jezior, sztucznych zbiorników)” będzie stosowany zamiennie z częściej stosowanym określeniem „osady denne”. Należy przy tym podkreślić, że badania osadów wodnych znacznie częściej dotyczą osadów dennych (*bottom sediment*) niż zawiesziny (materii zawieszonyj w wodzie, *suspended sediment*).

Większość substancji chemicznych uwalnianych do środowiska wodnego jest sukcesywnie adsorbowana przez osady. W konsekwencji kumulują one coraz większe ilości

zanieczyszczeń i nawet przy poprawie jakości wód (zmniejszeniu ilości transportowanych substancji szkodliwych) zanieczyszczenia najczęściej pozostają w osadzie, który może oddziaływać jako wtórne ognisko zanieczyszczeń. Monitorowanie osadów jest istotnym elementem strategii ukierunkowanej na osiągnięcie celów ekologicznych i ochronę środowiska wodnego. W dążeniu do ograniczenia negatywnego wpływu zanieczyszczeń chemicznych na ekosystemy wodne ważne jest nie tylko identyfikowanie źródeł ich pochodzenia oraz ryzyka, jakie generują zanieczyszczone osady, ale także remediacja miejsc, w których zanieczyszczenia stwarzają zagrożenie dla organizmów wodnych. Są to procesy złożone i kosztowne, zatem ocena jakości osadów powinna opierać się na solidnych podstawach naukowych i uwzględniać wiele składowych, w tym: zawartość substancji chemicznych, określenie potencjalnej toksyczności i trwałości zanieczyszczeń, możliwość bioakumulacji w łańcuchu troficznym, sposoby uruchamiania i przemieszczania się zanieczyszczeń (Simpson, Batley, 2016).

Wyniki badań osadów są często przedstawiane w opracowaniach dotyczących oceny zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego szkodliwymi substancjami chemicznymi. Jednak zarówno metody tych badań, jak i kwestie zarządzania ryzykiem powodowanym przez ich zanieczyszczenie nie zostały dotychczas zharmonizowane ani

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; iwys@pgi.gov.pl, pkos@pgi.gov.pl, lwoj@pgi.gov.pl; ORCID ID: Wysocka I.A. – 0000-0001-9513-0884; Kostrz-Sikora P. – 0000-0001-7633-9930; Wojcieszak Ł. – 0000-0002-4854-8054

w skali światowej, ani na szczeblu europejskim. Najczęściej podstawą klasyfikacji zanieczyszczonego osadu jest porównanie zawartości substancji zanieczyszczającej oznaczonej w osadzie z numerycznymi wartościami odniesienia wyznaczonymi dla tej substancji (Calmano i in., 1996; Burton, 2002; Wenning i in., 2005; Simpson, Batley, 2016; Nawrot i in., 2021). Wartość graniczna substancji chemicznej (tj. pierwiastka lub związku chemicznego) może być określana np. na podstawie danych ekotoksykologicznych albo wartości przyjętych jako naturalne tło geochemiczne danej substancji/pierwiastka na danym obszarze. Ze względu na naturalne zróżnicowanie geochemiczne występujące nawet w obrębie niewielkiego rejonu wyznaczone wartości tła geochemicznego mogą mieć zasięg regionalny, a niekiedy tylko lokalny (Albanese i in., 2007; Gałuszka, Migaszewski, 2011; Reimann i in., 2018).

Współcześnie wyzwaniem w zakresie badania jakości osadów wodnych jest rosnąca liczba nowych substancji chemicznych stosowanych w gospodarce (a w konsekwencji uwalnianych do środowiska), która przekłada się na konieczność szacowania bezpiecznych poziomów ich zawartości, gwarantujących ochronę ekosystemów wodnych. Wypracowanie wytycznych dla każdej szkodliwej substancji chemicznej wymaga szeroko zakrojonych badań toksyczności przeprowadzonych na dużej liczbie gatunków z różnych grup taksonomicznych (Leppanen i in., 2024). Związane z tym znaczne koszty sprawiają, że wysoce pożądane jest, aby pozyskane dane były powszechnie dostępne, tak jak ma to miejsce np. w przypadku wytycznych opracowanych w Kanadzie i USA, które są stosowane także w Australii i Nowej Zelandii czy niektórych państwach UE (Batley, Warne, 2017). Koncepcja dzielenia się lub wspólnego tworzenia bazy danych o toksyczności substancji chemicznych przez różne instytucje (nawet jeśli różnią się stosowane przez nie metody lub strategie) może być praktycznym i istotnym elementem w procesie ujednoczenia metodyki badania osadów.

W Europie ocena jakości wody jest prowadzona zgodnie z wytycznymi zawartymi w Ramowej Dyrektywie Wodnej (RDW, *Water Framework Directive*) (Brils, 2008, 2020). Pomimo że osad jest integralną częścią każdego ekosystemu wodnego i pełni ważną rolę zarówno w obiegu składników odżywczych, jak i substancji szkodliwych, RDW nie uwzględnia badania jakości i ilości osadów oraz zarządzania osadami, tak jak ma to miejsce w przypadku wody. Dyrektywa uwzględnia jedynie analizy zanieczyszczenia chemicznego w toni wodnej (*water column*) (EC, 2000).

Nie istnieją również żadne europejskie normy dotyczące oceny ilości zanieczyszczonych osadów w śródlądowych zbiornikach wodnych, więc w praktyce różne państwa stosują różne podejścia (Ausili i in., 2022). Pomimo że kwestia ilości osadów jest szczególnie ważna podczas oceny roli, jaką gromadzone osady mogą odgrywać w kontroli stanu różnych zbiorników poprzez oddziaływanie na jakość wody i morfologię tych akwenów, dotychczas nie ustanowiono na szczeblu europejskim przejrzystych zasad gospodarowania osadami w rzekach, strumieniach, jeziorach i innych zbiornikach. Należy przy tym zauważyć, że określenie ilości osadów w dużych jeziorach i zbiornikach jest problemem, który wymaga ukierunkowanych badań podstawowych i okresowej oceny oraz zastosowania odpowiednich technik modelowania w celu dostarczenia informacji niezbędnych do opracowania skutecznych programów działań, służących osiągnięciu dobrego stanu/potencjału ekologicznego wód.

W wielu opracowaniach autorzy zwracają uwagę na fakt, że dynamiczna zależność między wodą a osadem z kolejnymi cyklami resuspensja-sedymентация przyczynia się do przekształcania osadów we wtórne ogniska zanieczyszczeń, z możliwością ich wielokrotnego wprowadzania do fazy wodnej (Heise, Förstner, 2007; Schüttrumpf i in., 2011; Zoppini i in., 2014). W związku z tym oczywiste jest, że jakość osadów wpływa na jakość wody oraz na organizmy żyjące w danym ekosystemie. Większość organizmów żyjących w rzekach i jeziorach jest ściśle zależna od bentosu pełniącego funkcje: 1) podłoża siedliska dla makrofitów, większości makrobezkręgowców i peryfitonu; 2) źródła pożywienia oraz 3) schronienia, np. dla ryb. Zanieczyszczenia zawarte w osadzie stanowią stałe zagrożenie dla bytujących w nim organizmów. Zdolność osadu do adsorpcji niektórych zanieczyszczeń przyczynia się do wydłużenia czasu ich pozostawania w ekosystemach, w porównaniu do czasu, w którym pozostałyby one w wodzie (zwłaszcza w wodzie płynącej). Trwałe zanieczyszczenia nagromadzone w osadzie mogą zostać ponownie uwolnione do toni wodnej w odpowiednich warunkach w wyniku resuspensji osadu. Takie zjawisko może mieć miejsce na skutek ruchu wody (turbulencji), zwłaszcza podczas wzmożonych przepływów, rycia w osadzie przez zwierzęta bentosowe i bentożerne lub zaburzeń mechanicznych wywołanych przez człowieka, a także w wyniku zmiany parametrów chemicznych lub fizycznych osadów (np. pH, redox, temperatura).

Już w latach 90. XX w. zwrócono uwagę, że badanie zanieczyszczeń w osadach wymaga holistycznego podejścia. Zintegrowany schemat zarządzania osadami powinien uwzględniać określenie zależności biogeochemicznych, procesów międzyfazowych i mechanizmów transportu zanieczyszczeń, a także prognozę skutków długotrwałych „skrajnych” stanów (z uwzględnieniem właściwości kontrolujących pojemność osadu) (Calmano i in., 1996). Wypracowanie systemu zarządzania osadami jest szczególnie istotne w sytuacjach, gdy zmiany klimatyczne i coraz częściej występujące anomalie pogodowe mogą powodować negatywne skutki w ekosystemach przyrodniczych i wpływać na jakość życia ludzi.

NORMY JAKOŚCI OSADÓW

W celu określenia czy dany osad jest zanieczyszczony oraz wykonania oceny ryzyka konieczne są rzetelne i naukowo uzasadnione wytyczne postępowania lub numeryczne zawartości granicznych środowiskowych norm jakości. Wartości graniczne środowiskowych norm jakości osadów śródlądowych zbiorników wodnych zostały przyjęte dotychczas w Kanadzie, Hongkongu i kilku stanach USA, a także są one rozważane w Europie (Babut i in., 2005; Simpson, Batley, 2016). Wytyczne dotyczące jakości osadów (SQG, *sediment quality guidance*) zostały opracowane w celu ochrony zasobów biologicznych i/lub przewidywania niekorzystnych skutków dla tych zasobów. Zdefiniowano je jako numeryczne zawartości substancji chemicznych. Są one stosowane do oceny jakości osadów poprzez rozpoznanie potencjału badanej substancji do wywierania negatywnego (toksycznego) wpływu na organizmy żyjące w osadach (MacDonald i in., 2000). SQG zostały wyznaczone zarówno przy zastosowaniu podejścia mechanistycznego (często określanego jako „teoretyczne”), jak i empirycznego. Wartości SQG opierają się na przewidywaniu efektów oddziaływania zanieczyszczeń i są stosowane jako alterna-

tywa dla bezpośrednich pomiarów niekorzystnego oddziaływania na organizmy bentosowe (np. badania toksyczności osadów) (Wenning i in., 2005; Leppanen, 2024). SQG mogą być lub są stosowane do interpretacji historycznych trendów, identyfikacji potencjalnie toksycznych chemikaliów lub zasięgów ich oddziaływania w ekosystemach wodnych, interpretacji lub projektowania programów monitorowania środowiska, klasyfikacji miejsc zanieczyszczonych, ustalenia geochemicznego tła odniesienia dla obszarów nieurbanizowanych oraz klasyfikacji zanieczyszczonych dróg wodnych. W podejściu mechanistycznym SQG zostały opracowane w warunkach laboratoryjnych i przetestowane przy użyciu osadów zanieczyszczonych substancjami chemicznymi, a następnie porównane z wynikami badań toksyczności otrzymanymi z wykorzystaniem osadów zebranych w terenie. Tego typu wytyczne powstały na podstawie koncepcji podziału równowagowego (EqP), zgodnie z którą dla niejonowej substancji chemicznej ustala się równowaga pomiędzy węglem organicznym i wodą porową w osadzie a organizmami bentosowymi (US EPA, 2003; EC, 2011, 2018). Metoda oparta na wytycznych SQG umożliwi oszacowanie zawartości substancji znajdującej się w osadzie, pozwalając jednocześnie na określenie, czy w danych warunkach organizmy bytujące w osadach są chronione przed negatywnym wpływem tej substancji. Empiryczne wartości SQG pochodzą zazwyczaj z baz danych uwzględniających chemizm osadów (zawartości specyficznych zanieczyszczeń) i obserwowane skutki biologiczne (testy toksyczności osadów i analiza zbiorowisk bentosowych). Do zdefiniowania zawartości zanieczyszczeń związanych z konkretnym zakresem oddziaływania lub jego brakiem zostały zastosowane różne algorytmy ewaluacji (Wenning i in., 2005).

RAMOWA DYREKTYWA WODNA – STRATEGIA NA RZECZ PRZECIWDZIAŁANIA ZANIECZYSZCZENIU WODY W KRAJACH UE

Podstawowym aktem prawnym ustanawiającym ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej jest Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r., tzw. Ramowa Dyrektywa Wodna (RDW) (EC, 2000). Jednym z jej nadrzędnych celów jest osiągnięcie dobrego stanu/potencjału ekologicznego i dobrego stanu chemicznego wód powierzchniowych, zaś określone w przywołanym akcie prawnym strategię ochrony wód przed zanieczyszczeniem wiążą się przede wszystkim z identyfikacją substancji priorytetowych, które stanowią w krajach Unii Europejskiej (UE) znaczne ryzyko dla środowiska wodnego.

Stan ekologiczny/potencjał ekologiczny wody jest określany na podstawie oceny wielu wskaźników ujętych w trzy grupy, które obejmują parametry biologiczne, hydromorfologiczne oraz fizykochemiczne. Dobry stan chemiczny oznacza, że stężenia substancji zanieczyszczających wymienionych w obowiązujących aktach prawnych, w tym w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/39/WE z dnia 12 sierpnia 2013 r. zmieniającej dyrektywy 2000/60/WE i 2008/105/WE w zakresie substancji priorytetowych w dziedzinie polityki wodnej (EC, 2013), są poniżej ich środowiskowych norm jakości (EQS, *environmental quality standards*). Ocenę wykonuje się zgodnie z zasadą „najgorszy decyduje”.

Aktualnie dyrektywa wodna odnosi się do 45 substancji priorytetowych (SP) oraz kilku substancji dodatkowych

z systematycznie aktualizowanej listy obserwacyjnej (*watch list*, WL) (EC, 2013, 2022). Ich emisje do wód trzeba stopniowo ograniczać, a w przypadku 21 priorytetowych substancji niebezpiecznych należy je w miarę możliwości eliminować ze środowiska wodnego. Ramowa Dyrektywa Wodna wymaga od krajów członkowskich zapewnienia, że zawartości określonych zanieczyszczeń w osadach i biocie nie zwiększają się istotnie oraz że prowadzona jest inwentaryzacja emisji substancji zanieczyszczających. Takie działania mają na celu umożliwienie oceny postępu w redukcji i eliminacji substancji zanieczyszczających. W większości krajów europejskich metodyka oceny stanu zanieczyszczenia osadów dennych opiera się na porównaniu uzyskanych w ramach badań (np. monitoringu środowiska) zawartości substancji chemicznych wymienionych w dyrektywie wodnej z wartościami środowiskowych norm jakości. Wyznaczone EQS są wykorzystywane do rozdzielenia dobrego i złego stanu chemicznego osadów (EC, 2013). Metody ustalania wytycznych lub wartości granicznych w poszczególnych krajach nie zostały zharmonizowane, różny jest też ich status prawny.

Zgodnie z RDW kraje członkowskie powinny opracować zasady monitoringu dla substancji priorytetowych (substancji uznanych za szkodliwe), które charakteryzują się tendencją do kumulowania się w osadach i/lub w biocie, ze szczególnym uwzględnieniem substancji wymienionych w dyrektywie wodnej. Nie wszystkie substancje priorytetowe muszą być monitorowane w osadach. Podstawowym kryterium wyboru SP do monitoringu w osadach jest ich nierozpuszczalność (lub słaba rozpuszczalność) w wodzie i tendencja do łączenia się ze stałą frakcją osadu (*solid sediment*) (EC, 2009, 2011). Ponieważ niektóre substancje chemiczne są preferencyjnie wiązane przez małe cząstki mineralne i materię organiczną, podczas gdy inne pozostają w formie rozpuszczonej w fazie wodnej (toni wodnej) lub w wodzie porowej osadu, wytyczne dotyczące kryteriów do wszczęcia badania substancji w osadach (EC, 2011) zalecają, aby były one spójne z kryteriami przedstawionymi w rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1907/2006 (nazywanym REACH, *Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals*) (REACH, 2006) i w wykazie opracowanym przez Europejską Agencję Chemikaliów (ECHA, *European Chemicals Agency*) (ECHA, 2008). W uproszczeniu przyjęto, że substancja, dla której współczynnik adsorpcji na węglu organicznym (K_{oc}) wynosi $<500-1000$ ($\log K_{oc} < 3$) nie jest zwykle sorbowana w osadach. Konsekwentnie substancja, dla której wartość $\log K_{oc}$ jest równa lub wyższa od 3, powinna być badana w celu oceny jakości osadu. Ponadto substancje szkodliwe, dla których znane są potencjalne źródła emisji, np. zakłady przemysłowe (źródła punktowe, np. dla wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych) lub obszary rolnicze (źródła rozproszone, np. dla pestycydów) i które stwarzają potencjalne ryzyko zanieczyszczenia dla danego zbiornika wodnego, powinny być dodane do listy SP monitorowanych w osadach (Dudás, Jordan, 2021).

W ramach RDW wprowadzono system gospodarowania wodami w obszarze dorzeczy na podstawie naturalnych granic geograficznych i hydrologicznych. Dzięki takiemu podejściu możliwa jest obserwacja całych ekosystemów i zachodzących w nich procesów, niezależnie od istniejących podziałów administracyjnych, a zaistniałe problemy mogą być rozwiązywane w sposób kompleksowy i skoordynowany. Kształtowanie i prowadzenie gospodarki wodnej jest realizowane przez kraje członkowskie UE

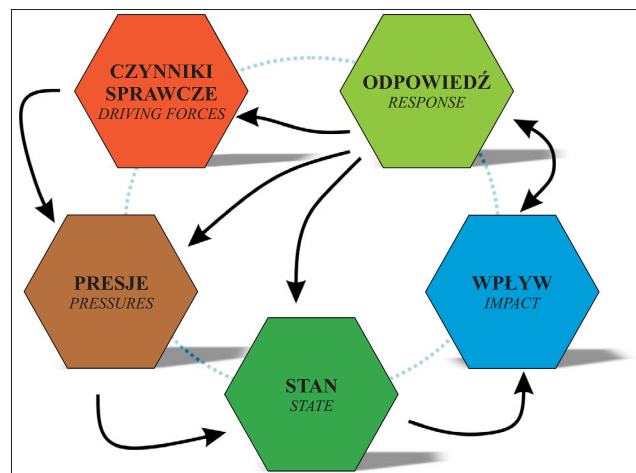
w oparciu o plany gospodarowania wodami (PGWD), które są sporządzane dla każdego dorzecza wyznaczonego w danym państwie (EC, 2000). Dokumenty te są ściśle powiązane z innymi opracowaniami planistycznymi i obowiązującymi aktami prawa i są tworzone w celu racjonalnego i zrównoważonego zarządzania zasobami wodnymi, w tym też poprawy ich jakości. Wykorzystanie osadów do identyfikacji i eliminacji źródeł zanieczyszczeń dorzeczy rzek europejskich może być pomocne w realizacji zapisów art. 16. RDW, który określa strategię przeciwdziałania zanieczyszczeniu wody i wymaga przyjęcia szczególnych środków stopniowego ograniczania zrzutów, emisji i strat substancji priorytetowych oraz zaprzestania lub stopniowego wycofywania zrzutów, emisji i strat priorytetowych substancji niebezpiecznych.

Istotnym działaniem podjętym w ramach RDW było wprowadzenie obowiązku oznaczania w biocie i w osadzie substancji priorytetowych, dla których ustalono środowiskowe normy jakości (EC, 2010, 2013, 2018). Te działania przyczyniły się do podjęcia dyskusji ukierunkowanej na wypracowanie bardziej kompleksowego systemu oceny jakości wód. Przykładem wpływu RDW na politykę środowiskową jest włączenie osadów do europejskich planów gospodarowania wodami w danym dorzeczu w ramach Wspólnej Strategii Wdrażania RDW (*Common Implementation Strategy*, CIS) (Ausili i in., 2022).

CELE MONITORINGU ŚRODOWISKA W POLSCE

W Polsce nadrzędnym dokumentem w obszarze krótko- i średnioterminowych badań stanu środowiska jest strategiczny program państwowego monitoringu środowiska (obecnie obowiązujący dokument opracowano na lata 2020–2025), który obejmuje zadania wynikające z przepisów prawa, zobowiązań międzynarodowych, jak również dokumentów strategicznych. Państwowy Monitoring Środowiska (PMS) stanowi system pomiarów, ocen i prognoz stanu środowiska oraz gromadzenia, przetwarzania i rozpowszechniania informacji o jego stanie (Ustawa, 1991). Kluczowym celem funkcjonowania PMS jest zapewnianie w sposób systemowy wiarygodnych informacji o stanie środowiska i prognozowanych zmianach tego stanu. Z tego też względu PMS jest jednym z istotnych narzędzi zarządzania środowiskiem, wspierających zrównoważony rozwój kraju. Istotną rolą PMS jest także opracowywanie ocen niezbędnych do wywiązania się Polski z wymagań zawartych w przepisach UE, w szczególności o charakterze ramowym, dotyczących ochrony środowiska, a także wypełnienia podpisanych i ratyfikowanych przez Polskę umów międzynarodowych.

Zadania PMS są realizowane w ramach struktury opartej na modelu DPSIR (akronim pochodzi od angielskich słów *driving forces* (czynniki sprawcze) – *pressures* (presje) – *state* (stan) – *impact* (oddziaływanie) – *response* (środki przeciwdziałania) stosowanym od lat przez Komisję Europejską (KE), Organizację Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) oraz Europejską Agencję Środowiska (EEA) m.in. przy sporządzaniu ocen oddziaływania na środowisko dokumentów strategicznych i sektorowych (ryc. 1). Podejście takie pozwala na generowanie kompleksowej, opartej na badaniach, analizach i ocenach informacji o środowisku zarówno dla potrzeb społeczeństwa, jak i administracji rządowej, samorządowej oraz instytucji międzynarodowych (Strategiczny Program PMS, 2020).



Ryc. 1. Model DPSIR stosowany przy sporządzaniu ocen oddziaływania na środowisko dokumentów strategicznych i sektorowych

Fig. 1. DPSIR model used to assess the influence of strategic documents on the environment

W odniesieniu do wód powierzchniowych celem funkcjonowania monitoringu jest dostarczenie wiedzy o ich stanie, co jest konieczne do podejmowania działań na rzecz poprawy ich jakości oraz ochrony przed zanieczyszczeniem. Wytwarzane informacje stanowią zatem podstawę do systematycznego kontrolowania skuteczności instrumentów gospodarowania wodami. Dodatkowo, w ramach obowiązków sprawozdawczych, uzyskane dane są przekazywane do KE i EEA.

Podsystem monitoringu jakości wód w latach 2020–2025 (Strategiczny Program PMS, 2020) obejmuje m.in. zadania związane z badaniem i oceną stanu jakości wód powierzchniowych zgodnie z ustawą z dnia 20 lipca 2017 r. *Prawo wodne* (Ustawa, 2017), transponującą wymagania ramowej dyrektywy wodnej, dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/105/WE z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie środowiskowych norm jakości w dziedzinie polityki wodnej, zmieniającej i w następstwie uchylającej dyrektywy Rady 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG i 86/280/EWG oraz zmieniającej dyrektywę 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady (EC, 2000, 2008), dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/39/UE z dnia 12 sierpnia 2013 r. zmieniającej dyrektywę 2000/60/WE i 2008/105/WE w zakresie substancji priorytetowych w dziedzinie polityki wodnej (EC, 2013) oraz dyrektywy azotanowej (EC, 1991). Uwzględniają one m.in. badania jakości osadów dennych w rzekach i jeziorach. W latach 2020–2025 szczególna uwaga została zwrócona na aktualizację sieci i programów monitoringu wód na kolejny cykl planistyczny PGWD (lata 2022–2027). Punkty pomiarowo-kontrolne monitoringu zlokalizowano, uwzględniając zaktualizowane wykazy jednolitych części wód. Pod uwagę wzięto także informacje o miejscach znaczących oddziaływań antropogenicznych, rejestr wykazów obszarów chronionych oraz wykazy wielkości emisji, o których mowa w art. 317 ust. 1 ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. *Prawo wodne* (Ustawa, 2017). Ponadto za jeden z priorytetowych kierunków działań w ramach rozwoju systemu klasyfikacji i oceny stanu wód uznano kontynuację analiz możliwości i celowości wykorzystania EQS dla substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego w osadach dennych na potrzeby klasyfikacji stanu chemicznego wód.

PRAKTYKI BADANIA OSADÓW ŚRÓDLĄDOWYCH ZBIORNIKÓW WODNYCH W WYBRANYCH KRAJACH EUROPY I ŚWIATA

Zarówno w Polsce, jak i w wielu innych krajach UE podczas oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych nie jest uwzględniany stopień zanieczyszczenia osadów. Tylko niektóre państwa członkowskie mają własne narzędzia w postaci prawa krajowego regulujące kwestię badania i oceny jakości (rzadziej ilości) aluwów.

Poniżej przedstawiono informacje związane z badaniami osadów w wybranych krajach europejskich (tab. 1). Podstawowym źródłem danych na temat monitorowania jakości osadów były raporty pochodzące z realizacji międzynarodowego projektu SIMONA (*Sediment-quality information, monitoring and assessment system to support transnational cooperation for joint Danube basin water management*) (Dudás, Jordan, 2021; Jordan, Dudás, 2021) oraz prezentacje ze spotkań roboczych organizacji SedNet (Apitz, 2019).

Pomimo regularnej oceny jakości osadów dokonywanej przez większość państw członkowskich trudno jest znaleźć wiarygodne dane określające całkowitą ilość zanieczyszczonych osadów w ciekach i zbiornikach Europy. Główną przyczyną takiego stanu jest brak zaleceń co do jednolitych metod pobierania próbek i pomiarowych technik analitycznych oraz stosowanych norm jakości osadów lub wartości dopuszczalnych. Nawet kraje położone w zasięgu tego samego dorzecza stosują różne metodyki, co powoduje ograniczenie możliwości porównywania jakości osadów. Dlatego jednym z kluczowych wniosków z realizowanych w ostatnich latach projektów jest opracowanie ujednoliconej metodyki badania osadów. Utrzymanie spójnych technik pobierania próbek przyczyni się do tego, że wyniki analiz parametrów chemicznych i fizycznych będą mogły zostać użyte jako narzędzie do lokalizacji i monitorowania źródeł emisji zanieczyszczeń (m.in. punktowych jak i rozproszonych, historycznych lub nieciągłych) w rzekach lub jeziorach oraz do wiarygodnego porównywania wyników badań.

Polska. W Polsce regularne badania osadów są wykonywane od 1990 r. w ramach jednego z podsystemów PMŚ: *Monitoring jakości śródlądowych wód powierzchniowych* i obejmują określenie zawartości metali ciężkich i wybranych szkodliwych związków organicznych w osadach rzek, strumieni i jezior. Bezpośredni nadzór nad realizacją programu badań sprawuje Departament Monitoringu i Informacji o Środowisku w GIOŚ. W 2016 r. zakres wskaźników podlegających monitoringowi osadów dennych rzek i jezior został zmodyfikowany i obecnie obejmuje ok. 100 substancji chemicznych (w tym zalecane substancje priorytetowe) (GIOŚ, 2021).

Według zapisów Dyrektywy 2013/39/EU państwa członkowskie same wyznaczają częstotliwość działań monitorujących zgodność ze środowiskowymi normami jakości osadów, z zapewnieniem wystarczających danych do prowadzenia wiarygodnej analizy trendów długoterminowych. W Polsce badania wykonywane są w cyklach rocznych i kilkuletnich, ale brakuje usankcjonowanych prawnie norm do oceny jakości osadów. Do 2022 r. były stosowane trzy metody klasyfikacji oparte na porównaniu zawartości substancji zanieczyszczających z wartościami odniesienia:

a) metoda geochemiczna, w której jako kryterium porównawcze stosuje się zawartości charakteryzujące osady specyficzne dla danego regionu geologicznego (naturalne)

lub nieznacznie zanieczyszczone (Bojakowska, Sokołowska, 1998);

b) metoda ekotoksykologiczna, w której jako kryterium porównawcze stosuje się zawartości zaproponowane dla trzypoziomowej skali wskaźników jakości osadów, umożliwiające przewidywanie negatywnych efektów oddziaływania na organizmy bentosowe lub ich braku (MacDonald i in., 2000);

c) metoda ekotoksykologiczna, w której jako kryterium porównawcze stosuje się krajowe wartości graniczne EQS wykorzystywane do określenia dobrego lub złego stanu chemicznego osadów (EC, 2011, 2013; GIOŚ, 2021).

Ze względu na brak zgodności w ocenie jakości osadów spowodowanej różnicami wynikającymi ze specyfiki przyjętych metodyk oceny (np. różny zakres i liczba analizowanych parametrów chemicznych) podjęto działania zmierzające do ujednoczenia oceny jakości osadów. Obejmują one dopracowanie kryteriów oceny oraz weryfikację przyjętych wartości dopuszczalnych, ze zdecydowanym ukierunkowaniem na metodykę opartą o EQS. Analizując wyniki oceny jakości osadów w zakresie wskaźników występujących w każdej testowanej metodyce oraz mając na uwadze czynniki wpływające na powstałe rozbieżności oceny, stwierdzono, że najbardziej zasadne jest dalsze prowadzenie oceny jakości osadów z zastosowaniem jednej, ujednoliconej metodyki oceny, aniżeli za pomocą trzech różnych, nie zawsze zgodnych kryteriów. W związku z powyższym zaproponowano stopniowe scalenie stosowanych metod klasyfikacji z zastosowaniem metodyki opierającej się na kryterium ekotoksykologicznym EQS (GIOŚ, 2021). Dodatkowo autorzy raportu sugerują prowadzenie badań osadów dennych w tym samym roku, w którym prowadzony jest monitoring wód i badania bioty w danych jednolitych częściach wód powierzchniowych (JCWP). Jeżeli nie jest to możliwe, należy dążyć do tego, aby czas między badaniami wód, osadów i bioty był jak najkrótszy. Takie postępowanie jest niezwykle istotne na etapie analizy wartości dopuszczalnych dla poszczególnych wskaźników wpływających na ocenę jakości osadów (GIOŚ, 2021). Prace terenowe są wykonywane zgodnie z metodyką określoną w normie PN-ISO 4364:2005 – Pomiary przepływu w korytach otwartych – Pobieranie próbek materiału dennego (norma wprowadzona w 2005 r. i wycofana w 2021 r.). Norma ta zawiera zalecenia dotyczące metod pobierania próbek zarówno niespoistego, jak i spoistego materiału dennego, głównie w celu określenia rozkładu częstości wielkości ziaren materiału dennego w korytach otwartych.

Wybrane kraje europejskie. Dane zawarte w raporcie z realizacji projektu SIMONA (Jordan, Dudás, 2019) dowodzą, że tylko w pięciu krajach położonych w obrębie zlewni Dunaju są stosowane krajowe regulacje dotyczące jakości i/lub ilości osadów w wodach śródlądowych. Są to Niemcy (regulacje na poziomie landów), Serbia, Słowacja, Słowenia i Węgry. Osiem innych państw (Austria, Bułgaria, Bośnia i Hercegowina, Chorwacja, Czarnogóra, Mołdawia, Rumunia i Ukraina) ich nie ma. W tabeli 1 zebrano informacje o procedurach opróbowania osadów stosowane w różnych krajach europejskich.

Austria nie ma aktualnie prawnie wiążących przepisów dotyczących jakości osadów rzecznych, jednak pobieranie próbek osadów strumieniowych ujednoczona norma krajowa ÖNORM G 1031.

W Belgii nie sformułowano nadrzędnych wymogów w zakresie zarządzania osadami, ale istnieją rozwiązania regionalne. We Flandrii kwestia jakości osadów jest regu-

Tab. 1. Procedury pobierania próbek osadów śródlądowych zbiorników wodnych stosowane w krajach europejskich
Table 1. Sampling procedures of sediment of inland water reservoirs used in European countries

Kraj Country	Krajowe przepisy ustawowe i wykonawcze National law and regulations	Stosowana część normy ISO 5667* Applicable part of the ISO 5667 standard*	Inne dokumenty lub wytyczne stosowane do pobierania próbek osadów Other documents relevant to sediment sampling	Opróbowywane medium Sampled medium
Austria Austria	brak no regulations		1. Austriacka norma ÖNORM G 1031 1. Austrian standard ÖNORM G 1031	osad denny, osad z terenów zalewowych, zawiesina bottom sediment, sediment from floodplains, suspended sediment
Belgia Belgium	brak no regulations			osad denny bottom sediment
Bośnia i Hercegowina Bosnia and Herzegovina	brak no regulations			brak informacji no information
Bulgaria Bulgaria	brak no regulations	12, 13, 15, 17		osad denny, zawiesina bottom sediment, suspended sediment
Chorwacja Croatia	brak no regulations	12		osad denny, osad z terenów zalewowych bottom sediment, sediment from floodplains
Czarnogóra Montenegro	brak no regulations			osad denny bottom sediment
Francja France	brak no regulations			osad denny bottom sediment
Moldawia Moldova	brak no regulations	15	1. Raport techniczny: IAEA-TECDOC-1360 (2003). Pobieranie i przygotowanie próbek osadów dennych do analizy radionuklidów i pierwiastków śladowych 2. Przewodnik UNEP/WHO 1996: Monitorowanie jakości wody – Praktyczny przewodnik po pro- jektowaniu i wdrażaniu badań i programów monitorowania jakości wody słodkiej 1. Technical report: IAEA-TECDOC-1360 (2003). Collection and preparation of bottom sediment samples for radionuclide and trace element analysis 2. UNEP/WHO 1996 Guide: Water quality monitoring. A practical guide to planning and implementing freshwater quality research and monitoring programs	osad denny, osad z terenów zalewowych, zawiesina bottom sediment, sediment from floodplains, suspended sediment
Niderlandy The Netherlands	tak yes			osad denny bottom sediment
Niemcy Germany	tak (na poziomie landów) yes (at the level of the federal states)			zawiesina suspended sediment
Norwegia Norway	tak yes			osad denny bottom sediment
Polska Poland	brak no regulations		1. Norma PN-ISO 4364:2005 – Pomiar przepływu w korytach otwartych. Pobieranie próbek materiału dennego 1. Standard PN-ISO 4364:2005 – Flow measurements in open channels. Bottom sediment sampling	osad denny bottom sediment
Rumunia Romania	brak no regulations	12, 17	1. Norma ISO 4364:1997. Pomiar przepływu cieczy w kanałach otwartych. Pobieranie próbek z dna 2. Norma ISO 9195:1992. Pomiar przepływu cieczy w kanałach otwartych. Pobieranie próbek i analiza materiału żwirowego z dna 1. Standard ISO 4364:1997. Measurement of liquid flow in open channels. Bed material sampling 2. ISO 9195:1992. Liquid flow measurement in open channels. Sampling and analysis of gravel-bed material	osad denny, zawiesina, urobek bottom sediment, suspended sediment, excavated material

Kraj Country	Krajowe przepisy i wykonawcze National law and regulations	Stosowana część normy ISO 5667* Applicable part of the ISO 5667 standard*	Inne dokumenty lub wytyczne stosowane do pobierania próbek osadów Other documents relevant to sediment sampling	Opróbowywane medium Sampled medium
Serbia Serbia	tak yes	12, 15		osad denny bottom sediment
Słowacja Slovakia	tak yes	12, 15		osad denny bottom sediment
Słowenia Slovenia	tak yes			osad denny bottom sediment
Szwajcaria Switzerland	brak no regulations			osad denny bottom sediment
Szwecja Sweden	brak no regulations		1. Wytyczne dotyczące niektórych aspektów pracy ze zanieczyszczonymi osadami, w przypadku których kwestie i metody różnią się w zależności od zanieczyszczonych miejsc na lądzie i w osadach 1. Guidance on certain aspects of working with contaminated sediments where issues and methods differ between contaminated sites on land and in sediment (https://www.naturvardsverket.se/en/guidance/polluted-areas/contaminated-sediment/)	osad denny bottom sediment
Ukraina Ukraine	brak no regulations	12		brak informacji no information
Węgry Hungary	tak yes	12	1. Krajowa norma MSZ 21470-1:1998 – Badania śródlądowe gleby. Opróbowanie 2. Krajowa norma MSZ EN 14899:2006 – Charakterystyka odpadów. Pobieranie próbek materiałów odpadowych. Ramy dla przygotowania i stosowania planu pobierania próbek 1. National standard MSZ 21470-1:1998 – Environmental soil tests. Sampling 2. National standard MSZ EN 14899:2006 – Characterization of waste. Sampling of waste materials. A framework for preparing and applying a sampling plan	brak informacji no information
Wielka Brytania Great Britain	brak no regulations		1. Międzynarodowe wytyczne SQG (proponowane przez OSPAR, CCME i ERL) używane są dla porównania regionalnych i krajowych wartości granicznych. Dostępne są krajowe poziomy działania dla utrobku przeznaczonych do unieszkodliwienia 1. International SQG (proposed by OSPAR, CCME and ERL) are used to compare regional and national limit values. National action levels are available for spoil qualified for disposal	brak informacji no information
Włochy Italy	brak no regulations			brak informacji no information

*Tytuły poszczególnych części normy / Titles of individual parts of the standard:

ISO 5667-12 – Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 12: Wytyczne dotyczące pobierania próbek osadów dennych z rzek, jezior i estuariów.

ISO 5667-12 – Water quality – Sampling – Part 12: Guidance on sampling of bottom sediments from rivers, lakes and estuarine areas.

ISO 5667-13 – Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 17: Wytyczne dotyczące opróbowania osadów ściekowych.

ISO 5667-13 – Water quality – Sampling – Part 13: Guidance on sampling of sludges.

ISO 5667-15 – Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 15: Wytyczne dotyczące utrwalania i postępowania z próbkami osadów dennych i ściekowych.

ISO 5667-15 – Water quality – Sampling – Part 15: Guidance on the preservation and handling of sludge and sediment samples.

ISO 5667-17 – Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 17: Wytyczne dotyczące pobierania osadów zawieszonych.

ISO 5667-17 – Water quality – Sampling – Part 17: Guidance on sampling of bulk suspended solids.

lowana zgodnie z kryteriami glebowymi, opartymi na użytkowaniu gruntów (VLAREBO, 2008, rozporządzenie rządu ustanawiające przepisy flamandzkie dotyczące rekultywacji i ochrony gleby). W Walonii są stosowane trzy różne poziomy jakości gleby: wartości referencyjne, interwencyjne i progowe, które są również wykorzystywane dla osadów. Ponadto Walonia ma akty prawne dotyczące zarządzania skażonymi glebami i wodami.

Kolejnymi państwami, w których nie obowiązują żadne przepisy ustawodawcze odnoszące się do pobierania próbek osadów oraz badania ich jakości lub ilości są **Bulgaria, Chorwacja, Mołdawia i Rumunia**. W krajach tych obowiązują natomiast procedury pobierania próbek oparte na normie ISO 5667 (tab. 1). W Mołdawii pobieranie próbek osadów odbywa się zgodnie z normą ISO 5667-15 – Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 15: Wytyczne dotyczące utrwalania i postępowania z próbkami osadów dennych i ściekowych oraz dokumentem IAEA-TECDOC-1360 (2003): Pobieranie i przygotowanie próbek osadów dennych do analizy radionuklidów i pierwiastków śladowych oraz Monitorowanie jakości wody. Praktyczny przewodnik po projektowaniu i wdrażaniu badań i programów monitorowania jakości wody słodkiej. W Rumunii, oprócz wspomnianej normy ISO 5667, próbki osadów są pobierane zgodnie z wymaganiami norm: ISO 4364:1997 – Pomiar przepływu cieczy w kanałach otwartych. Pobieranie próbek materiału złoża oraz ISO 4364:1997/Cor 1:2000 i ISO 9195:1992 – Pomiar przepływu cieczy w kanałach otwartych. Pobieranie próbek i analiza materiału złoża żwirowego.

Bośnia i Hercegowina oraz Czarnogóra nie mają formalnie usankcjonowanych przepisów regulujących monitorowanie jakości osadów. W krajach tych nie obowiązują żadne rozwiązania prawne obejmujące kwestie pobierania próbek osadów oraz badania ich jakości lub ilości.

We **Francji**, która nie ma szczegółowych przepisów dotyczących gospodarowania potencjalnie skażonymi osadami, na szczeblu krajowym zdefiniowano wartości umożliwiające określenie jakości „użytkowanych” śludkowodnych i morskich materiałów z pogłębiania. Zalecane jest również przeprowadzenie wieloetapowej oceny, jeśli poziomy zanieczyszczeń przekraczają SQG.

Znacząco odmienne podejście jest praktykowane w **Niderlandach**, gdzie osady są traktowane jako integralna część systemu wodnego. Po stwierdzeniu przekroczenia dopuszczalnych norm jakości wody, wdrażane są działania określone w specjalnym schemacie zarządzania jakością wody. Eksploracyjne badanie osadów określa, czy ich jakość przyczynia się do przekroczeń norm w wodzie. Jeśli tak, oblicza się zawartości substancji w osadach i ich wpływ na jakość wody. Remediacja jest wymagana tylko wtedy, gdy niezbędna jest skuteczna metoda osiągnięcia celów RDW. Obowiązujące dawniej wartości docelowe i interwencyjne stosowane dla gleb, osadów i urobku z pogłębiania mogą być nadal wykorzystywane do wskazania, czy osady stanowią potencjalne zagrożenie.

W **Niemczech** za monitoring wód powierzchniowych (włączając osady) odpowiada 16 krajów związkowych. Standardy jakości osadów określa rozporządzenie w sprawie wód powierzchniowych z dnia 20 czerwca 2016 r., ale dostępne są też krajowe wytyczne dotyczące monitoringu (tj. procedury, protokoły, metodologie), odnoszące się do dokumentu LAWA-AO (Framework Concept on Monitoring, 2007), i instrukcje postępowania z urobkiem z pogłębiania śródlądowego. Rozporządzenie określa też dopusz-

czalne docelowe zawartości substancji w osadach i materii zawieszanej. Takie rozwiązanie ma zapewnić obniżenie zawartości substancji w zrzutach do wód, a także umożliwić spełnienie standardów jakości środowiska dla poszczególnych zlewni rzecznych. W literaturze anglojęzycznej nie znaleziono jednak informacji na temat metodologii stosowanej w Niemczech do pobierania próbek osadów i/lub zawiesiny (Dudás, Jordan, 2021). Landy opracowały wymagania dotyczące badań osadów i/lub zawiesiny na podstawie wytycznych federalnych. Wyniki tych badań mogą być wykorzystane do oceny stanu zbiorników wodnych, określenia trendów długookresowych oraz tworzenia inwentaryzacji terenów skażonych, jednak nie są to wymagania regulowane ustawowo. Na uwagę zasługuje też fakt, że opracowano ramy i wytyczne dla jakości osadów SQG specyficzne dla Łaby i Renu, które mają służyć jako referencyjne przykłady dla innych regionów.

W **Norwegii** uznaje się, że osady mają znaczenie dla stanu chemicznego zbiorników wodnych i organizmów jako źródło zanieczyszczeń, a gospodarowanie nimi może odgrywać istotną rolę w realizacji celów środowiskowych. Istnieją szczegółowe wytyczne dla osadów morskich i śludkowodnych. Wartości graniczne zanieczyszczeń dla osadów morskich są też stosowane do klasyfikacji jakości osadów śludkowodnych. Norweska klasyfikacja zanieczyszczeń w osadach opiera się aktualnie na efektach środowiskowych ściśle powiązanych z zasadami oceny ryzyka stosowanymi w UE. Obecna klasyfikacja jest również zgodna z norweskimi wytycznymi dotyczącymi oceny ryzyka osadów morskich i stanowi przydatne narzędzie dla zarządzania środowiskiem morskim. Wcześniejsze wartości docelowe i interwencyjne, stosowane w przypadku gleb, osadów i urobku z pogłębiania, mogą być nadal wykorzystywane do wskazania, czy osady stanowią zagrożenie (Bakke i in., 2010).

Serbia jest jednym z krajów, w którym obowiązują krajowe przepisy ustawowe i wykonawcze obejmujące obszary pobierania próbek osadów i oceny ich jakości. Do ważnych aktów prawnych w dziedzinie zarządzania aluwiami należą: a) rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych wartości zanieczyszczeń w wodach powierzchniowych, gruntowych i osadach (Dziennik Urzędowy RS nr 50/2012) oraz b) rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych wartości dla substancji priorytetowych niebezpiecznych zanieczyszczających wody powierzchniowe (Dziennik Urzędowy RS nr 24/2014). Próbkami osadów dennych są pobierane zgodnie z wymaganiami normy SRPS ISO 5667-12 (2001) – Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 12: Wytyczne dotyczące pobierania próbek osadów dennych. Transport i postępowanie z próbkami odbywa się zgodnie z SRPS ISO 5667-15 (2010) – Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 15: Wytyczne dotyczące konserwacji i postępowania z próbkami osadów dennych i ściekowych.

Na **Słowacji** kwestie pobierania próbek osadów oraz analizy ich jakości i ilości są regulowane przez: a) wytyczne Ministerstwa Środowiska Republiki Słowackiej z dnia 28 sierpnia 1998 r. nr 549/98-2 w sprawie oceny ryzyka wynikającego z zanieczyszczonych osadów cieków i zbiorników; b) wytyczne UE zawarte w RDW (CIS nr 25) dotyczące monitoringu chemicznego osadów, fauny i flory; c) raport techniczny – 2010.3991. Luksemburg, ustawa nr 79/2015 Dz. o odpadach oraz d) ustawę nr 188/2003 Dz. w sprawie dodawania osadów ściekowych i osadów dennych do gleby. Próbkami pobierane są zgodnie z normą STN

ISO 5667-12 (2001), transport i postępowanie z próbkami odbywa się zgodnie z STN ISO 5667-15.

Słoweńskie wytyczne dotyczące pobierania próbek osadów i określania ich jakości zawarte są w regulaminie operacyjnego monitoringu stanu wód powierzchniowych (Dziennik Ustaw RS nr 91/2013 z dnia 05.11.2013 r.). Ponadto w Słowenii dostępne są wytyczne, procedury, protokoły i metodyki m.in. w ramach programu monitorowania stanu chemicznego i ekologicznego wód 2016–2021. Próbkami osadów dennych pobierane są zgodnie z wymaganiami SIST ISO 5667-12:1996 – Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 12: Wytyczne dotyczące pobierania próbek osadów dennych. Transport i postępowanie z próbkami odbywa się zgodnie z SIST ISO 5667-15:2010 – Jakość wody. Pobieranie próbek. Część 15: Wytyczne dotyczące utrwalania i postępowania z próbkami osadów dennych i ściekowych.

W **Szwajcarii** wody powierzchniowe są chronione przez szwajcarskie rozporządzenie o ochronie wód (fr. *Ordonnance sur la protection des eaux, OEaux*, OFEV 1998), które stanowi, że jakość wody powinna być taka, aby woda, zawiesina i osady nie zawierały trwałych substancji syntetycznych, zapewniając w ten sposób ochronę życia organizmów wodnych. Lokalne agencje zajmują się monitorowaniem jakości wody z zastosowaniem zwalidowanych metod. W celu monitorowania mikrozanieczyszczeń wód powierzchniowych opracowano kilka list substancji priorytetowych, ale nie dotyczą one osadów. Niektóre lokalne agencje ustanowiły programy monitorowania osadów, ale pomimo przeprowadzonego „badania przesiewowego”, które pomaga w ustaleniu priorytetowych mikrozanieczyszczeń w osadach, nie powstała do tej pory ujednolicona dla obszaru całego kraju metodologia do oceny ich jakości (Casado-Martinez i in., 2018, 2022).

We **Włoszech** przestrzeganie wartości EQS dla osadów w morskich wodach przybrzeżnych i przejściowych ma charakter priorytetowy. Jednak procedury stosowane dla istniejących EQS nie są jasne. Generalnie ISPRA (wł. *Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale*) jest odpowiedzialna za określenie wartości interwencyjnych. W odpowiedzi na ramową dyrektywę wodną włoskie Ministerstwo Środowiska zaproponowało wartości SQS dla osadów morskich, przyjmując, że do 2021 r. zawartości priorytetowych substancji niebezpiecznych w wodach laguny muszą być bliskie naturalnego tła geochemicznego (lub być bardzo niskie w przypadku źródeł naturalnych lub antropogenicznych). ISPRA przedstawiła zalecenia dotyczące SQS dla kilku dodatkowych zanieczyszczeń, nie są to jednak rozwiązania usankcjonowane prawnie, a także opracowała SQS i dopuszczalne poziomy substancji dla osadów słodkowodnych (Albanese i in., 2007; Dudás, Jordan, 2021).

Wybrane kraje spoza Europy. W **Australii i Nowej Zelandii** obowiązuje Ramowy System Zarządzania Jakością Wody (*Water Quality Management Framework*), który definiuje kluczowe zagadnienia niezbędne w długoterminowej strategii zarządzania zasobami wodnymi. Koncentrują się one m.in.: na zrozumieniu powiązań między działalnością człowieka a jakością wody, z uwzględnieniem osadów; na zidentyfikowaniu właściwych celów dotyczących jakości wody i osadów, a także na przyjęciu opłacalnych ekonomicznie strategii niezbędnych do osiągnięcia celów dotyczących jakości wody/osadu (Australian Government Initiative, 2022).

Ponadto w 2000 r. Australijska i Nowozelandzka Rada ds. Ochrony Środowiska (*Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, ANZECC*) oraz Rada ds. Rolnictwa i Zarządzania Zasobami Australii i Nowej Zelandii (*Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, ARMCANZ*) opracowały wytyczne dotyczące jakości wody, zapewniając w ten sposób kompleksowy zestaw narzędzi do oceny tego komponentu środowiska i zarządzania nim (ANZECC/ARMCANZ, 2000a, b).

Strategia stosowana w Australii i Nowej Zelandii polega na wprowadzeniu wielopoziomowej skali oceny osadów, tak aby przekroczenie wartości granicznych prowadziło do dodatkowych badań potwierdzających lub zaprzeczających możliwości oddziaływania biologicznego. Podejście to zostało przedstawione w australijskich i nowozelandzkich wytycznych dotyczących jakości wody słodkiej i morskiej (ANZECC/ARMCANZ, 2000a, b; Simpson, Batley, 2016). W 2000 r. w Australii zostały wprowadzone wartości graniczne dla jakości osadu SQGV (*sediment quality guideline values*), ale w przeciwieństwie do innych krajów miały być one praktycznie używane jako istotna składowa wielopoziomowej skali oceny, zgodnie z podejściem opartym na szacowaniu ryzyka wprowadzonym przez ANZECC/ARMCANZ (2000a). Australia i Nowa Zelandia przyjęły empiryczne SQGV pochodzące z rankingu danych dotyczących toksyczności i innych skutków, zawartych w bazie danych opracowanej dla Ameryki Północnej i wyznaczonych na podstawie badań eksperymentalnych wykonanych w terenie. Pomimo że opracowano zarówno dolną, jak i górną granicę zakresu zawartości zanieczyszczeń, to regulacja opiera się przede wszystkim na dolnej wartości. Przyjęto, że prawdopodobieństwo wystąpienia negatywnych skutków poniżej dolnej wartości granicznej jest niskie, a wysokie – powyżej górnej wartości granicznej. Dolna wartość SQGV jest stosowana jako kryterium przesiewowe i jeśli zostanie przekroczona, to jest to sygnał do dalszego postępowania. Dotychczasowa wiedza pozwala na rozsądne zdefiniowanie zakresów stężeń, poniżej których nie obserwuje się żadnych skutków i powyżej których negatywne skutki są prawie zawsze obserwowane. Jednak w zakresie przejściowym przewidywane oddziaływania cechują się znaczną niepewnością, a w niektórych przypadkach różnią się nawet o rząd wielkości.

Tradycyjne podejście, uwzględniające jedynie chemizm zanieczyszczeń i ekotoksykologię, nie zawsze jest wystarczające do ustalenia, czy zanieczyszczenia osadu negatywnie wpływają na stan ekosystemu. Dlatego szacowanie ryzyka opiera się na analizie tzw. linii dowodowych (*lines of evidence*). W niektórych sytuacjach właściwe jest, aby podczas podejmowania decyzji zostały uwzględnione różne linie dowodowe. Wskazaniem do zastosowania takiej strategii jest m.in.: obecność głównych zanieczyszczeń, dla których nie zostały wyznaczone SQGV; obecność nieznannej mieszaniny zanieczyszczeń; niejednoznaczne wyniki uzyskane z oceny chemicznej i testów toksyczności (tj. przekroczone SQGV nie poparte testami toksyczności lub ewidentna toksyczność ale brak przekroczeń SQGV); wymóg przeprowadzenia kompleksowej oceny ryzyka ekologicznego przez instytucję nadzorującą (obejmujący historyczne, obecne lub planowane działania, które mogą mieć wpływ na zdrowie ekosystemu osadów); widocznie zdegradowane środowisko ekologiczne, które wymaga bardziej szczegółowej oceny; jak też duża powierzchnia zanieczyszczonego obszaru (działania naprawcze zbyt

kosztowne, przez co lepiej jest wykonać tylko niezbędne działania na tych osadach, które zostały określone jako stwarzające największe zagrożenia dla zdrowia ekosystemu) (Simpson, Batley, 2016).

Zintegrowane podejście do oceny i zarządzania zanieczyszczonymi osadami jest stosowane również w **Kanadzie**. Pod auspicjami Kanadyjskiej Rady Ministrów Środowiska (CCME) w 1995 r. został opracowany dokument pt. *Kanadyjskie normy jakości osadu (Canadian sediment quality guidelines)*, zawierający wytyczne dotyczące oceny jakości osadów (CCME, 1995, 2021). Przedstawiono w nim procedury postępowania mające na celu opracowanie naukowo uzasadnionych krajowych wytycznych dotyczących jakości osadów i ochrony życia wodnego, plany długoterminowych działań służących utrzymaniu dobrego stanu ekosystemów wodnych oraz metody określania celów specyficznych dla danego miejsca. Zawiera on również wstępne zalecenia dotyczące sposobu, w jaki te wytyczne mają być używane w połączeniu z innymi rodzajami informacji. Podstawę prawną wielu federalnych programów ochrony środowiska i zdrowia stanowi kanadyjska ustawa o ochronie środowiska z 1999 r. (CEPA), której głównym zadaniem jest przyczynienie się do zrównoważonego rozwoju poprzez zapobieganie zanieczyszczeniom (CCME, 1995, 2021).

Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (*Environmental Protection Agency, US EPA*) już w latach 80. i 90. XX w. opracowała i wydała serię dokumentów ustalających standardy w zakresie środowiska wodnego na obszarze **Stanów Zjednoczonych** (US EPA, 1987, 1992, 1998). Badania osadów są generalnie prowadzone w dwóch etapach. W pierwszym etapie są wykorzystywane ogólnie przyjęte metody pobierania próbek i procedury analityczne, w celu określenia, czy całkowite zawartości zanieczyszczeń są na tyle podwyższone, aby wzbudzić obawy o środowisko. Na tym etapie podstawowym założeniem oceny jest to, że wszystkie zanieczyszczenia są biodostępne. Jeśli wyniki wskazują, że potencjalnie może zaistnieć problem, to ocena ryzyka wymaga wdrożenia drugiego etapu postępowania. Ta część koncentruje się na biodostępności i określeniu, czy istnieją istotne dowody wpływu zanieczyszczenia, takie jak mniejsza bioróżnorodność w osadach objętych oddziaływaniem oraz obecność chemikaliów w tkance flory i fauny (US EPA, 2005).

Agencje rządowe takich krajów jak Kanada czy USA w programach działań naprawczych przewidzianych dla zanieczyszczonych osadów uwzględniają obecnie potencjalne efekty związane ze zmianą klimatu i konieczność adaptacji do takich zmian (US EPA, 2005, 2015; ECCC, 2022). Pomimo że liczba projektów poświęconych zarządzaniu zanieczyszczonymi osadami realizowanymi w Kanadzie jest znacznie mniejsza niż w USA, a istniejąca baza wiedzy w kanadyjskim sektorze publicznym i prywatnym jest ograniczona, to kilka dużych projektów, opartych na zarządzaniu osadami w Kanadzie, zostało zakończonych. Obejmują one zarówno program związany z ochroną obszaru Wielkich Jezior (*Great Lakes Areas of Concern, GLAOC*), inicjatywy federalne dla terenów zanieczyszczonych (*Federal Contaminated Sites Action Plan, FCSAP*) oraz projekty sektora prywatnego. W 2022 r. departament rządu Kanady odpowiedzialny za koordynację polityki i programów środowiskowych, a także ochronę i poprawę środowiska naturalnego i zasobów odnawialnych (*Environment and Climate Change Canada, ECCC*) opublikował dokument poświęcony ocenie planowanych projektów w celu zarządzania

zanieczyszczonymi osadami (*Evaluation of project designs for contaminated sediment management. User guide, 2022*) (ECCC, 2022). W dokumencie tym zostały nakreślone istotne czynniki, które powinny być brane pod uwagę przy projektowaniu i zarządzaniu zanieczyszczonym osadem. Wspomniany dokument jest podsumowaniem doświadczeń zdobytych podczas realizacji projektów związanych z gospodarowaniem osadami Wielkich Jezior (GLAOC). Dostarczył on wskazówek dla liderów projektów odpowiedzialnych za nadzorowanie, weryfikację lub opiniowanie w zakresie opracowania planu zarządzania osadem w konkretnym miejscu. W dokumencie ECCC zwracano uwagę, że zanieczyszczone systemy wodne są bardzo dynamicznymi środowiskami, dlatego w celu opracowania bezpiecznego, odpowiedzialnego i skutecznego rozwiązania zarządzania zanieczyszczonym osadem wymagane jest dogłębne zrozumienie wielu składowych, takich jak: chemizm, procesy fizyczne i biologiczne oraz aspekty społeczno-ekonomiczne. ECCC zawiera opis popularnych technik zarządzania osadami, które mają obecnie znaczenie praktyczne: pogłębianie (*dredging*), składowanie w obiektach zamkniętych, zasklepienie izolacyjne, zasklepienie ciekowarstwowe, działania *in situ* oraz monitorowanie naturalnej regeneracji (*monitored natural recovery*). W wielu projektach zarządzania osadami stosuje się mieszane podejścia zaradczo-naprawcze, w związku z tym ocena projektu wymaga zbadania kilku strategii zalecanych w wytycznych ECCC. Zalecane jest, aby każdy projekt zarządzania osadami podlegał przeglądowi i był uzupełniony o szczegółową charakterystykę osadów dla danego miejsca, szacowanie ryzyka i ewaluację możliwych opcji zarządzania oraz weryfikację, czy opis analizowanego projektu uwzględnia wszystkie ważne elementy każdego etapu (m.in. charakterystykę środowiskową i geotechniczną, wymagania budowlane i konstrukcyjne) (ECCC, 2022).

OSADY W UJĘCIU SedNet'u

SedNet jest europejską organizacją, utworzoną w 2002 r. z inicjatywy Komisji Europejskiej, która zajmuje się zagadnieniami zarządzania osadami i ich wpływem na osiągnięcie celów środowiskowych. Od 2005 r. SedNet jest niezależna od KE i współpracuje z partnerami reprezentującymi m.in. instytucje naukowe, administracyjne i doradcze. Jej działalność skupia się na wszystkich kwestiach związanych z jakością i ilością osadów słodkowodnych poszczególnych dorzeczy, a także osadów estuariowych i morskich (Brils, 2020). W stanowisku przyjętym przez SedNet osady są traktowane jako integralna część przyrodniczych systemów wodnych oraz jako ważne zasoby, które wymagają ochrony i ukierunkowanego zarządzania (SedNet, 2014). SedNet wypracował cztery kluczowe przesłania dotyczące:

- ilości i hydromorfologii osadów,
- jakości i remobilizacji osadów,
- ekologii osadów i rzek,
- gospodarki urobkiem.

Ilość i hydromorfologia osadów. Transport osadów jest istotnym elementem naturalnego reżimu hydromorfologicznego, a dotychczasowy sposób zarządzania doprowadził do stanu, w którym naturalne procesy ich przemieszczania w korytach rzek zostały znacznie zmodyfikowane w większości krajów europejskich, powodując czasami dramatyczne konsekwencje dla stabilności koryt rzecznych i wybrzeży morskich rzek i wybrzeży. RDW zaleca prowadzenie działań dążących do przywrócenia dobrego

stanu warunków hydromorfologicznych, o ile zostaną one poprzedzone wnikliwą oceną ryzyka. Konieczne jest lepsze zrozumienie zarówno obecnego stanu, jak i potencjalnych skutków zmian naturalnych procesów w rzekach, po to aby zapewnić wiarygodną ocenę hydromorfologiczną i odpowiednie środki interwencyjne

Transport osadów rzecznych może być różny w zależności od przepływu rzeki. Dlatego istnieje potrzeba rozwijania podejść opartych na zrozumieniu procesu zarządzania osadami w skali zlewni. Zanieczyszczenia zawarte w osadach mogą utrzymywać się przez długi czas, wpływając na środowisko i sposób użytkowania obszaru danej zlewni jeszcze długo po likwidacji ich źródła. Ilościowe i jakościowe aspekty zarządzania osadami są ze sobą ściśle powiązane, ponieważ zanieczyszczenia są przenoszone wraz z cząstkami osadu/zawiesiny. Osady i zawarte w nich zanieczyszczenia podlegają tym samym procesom transportu, a dodatkowo reakcje chemiczne mogą zmieniać formę szkodliwych substancji oraz zwiększać lub zmniejszać ich biodostępność.

Jakość i remobilizacja osadów. Zanieczyszczone osady mogą wywierać niekorzystny wpływ na ludzi, środowisko i gospodarkę. Są one przemieszczane korytami rzecznyymi do mórz i mogą wywoływać negatywne skutki odczuwane nie tylko lokalnie, ale także daleko od źródła zanieczyszczenia. Konieczne jest zatem włączenie środków zaradczych i ochronnych do planów gospodarowania wodami na obszarze całych dorzeczy. Aby zapewnić skuteczne zarządzanie potrzebne jest lepsze zrozumienie podstawowych procesów remobilizacji, fazowego transportu osadu, emisji i migracji zanieczyszczeń, szczególnie w ekstremalnych warunkach. Dotyczy to nie tylko kontroli aktualnych źródeł zanieczyszczenia, ale także rozwiązania problemu zanieczyszczeń historycznych. Jest to szczególnie ważne na obszarach, gdzie zanieczyszczony osad może ulegać remobilizacji (np. podczas gwałtownych powodzi) – zwłaszcza, że takie zdarzenia prawdopodobnie staną się częstsze w wielu dorzeczach z powodu zmian klimatu.

Ze względu na zagrożenia związane ze zmianami klimatycznymi w przyszłości można spodziewać się zmian w gospodarowaniu osadami. Wymagane nowe rozwiązania powinny uwzględniać postępujące podnoszenie się poziomu mórz, sezonowe zaburzenia wielkości opadów i zdarzenia ekstremalne, które mogą powodować silniejszą erozję, zmiany w przepływach i procesach sedymentacji. Skutkiem zmian klimatu mogą być zmiany fizycznych i chemicznych parametrów osadów, które mogą spowodować, że zanieczyszczenia związane z osadem będą zachowywać się w przyszłości inaczej niż obecnie. Poza tym prognozuje się, że udział pogłębiania i gospodarowania urobkiem w rozwiązaniach adaptacyjnych do zmian klimatu będzie się zwiększał, np. poprzez wykorzystanie osadu w działaniach przeciwpowodziowych w dorzeczach.

Ekologia osadów i rzek. Osiągnięcie trwałej równowagi między rozwojem dróg wodnych a spełnieniem celów ekosystemowych (takich jak osiągnięcie dobrego stanu ekologicznego i ochrona funkcji ekosystemu) będzie zależała od konstruktywnego dialogu między różnymi interesariuszami, lepszej koordynacji polityki i efektywnej współpracy transgranicznej. Osad jako integralna część ekosystemów wodnych odgrywa kluczową rolę w „dobrach” i „usługach” dostarczanych przez wodę. Na „dobra” i „usługi” ekosystemu ma wpływ zmienność ilości i jakości osadów. Przykładami ważnych funkcji spełnianych w przyrodzie przez osady są: udział w obiegu składników odżywczych,

budowanie podłoża siedliska, tworzenie zasobów, rozpraszanie energii w cyklu hydrologicznym, udział w tworzeniu się gleb na obszarach zalewowych i w regionach delt, wzbogacanie plaż w składniki odżywcze, rekreacja itp. Dlatego zrównoważone zarządzanie osadami powinno chronić zdrowe funkcjonowanie ekosystemu.

Gospodarka urobkiem. SedNet postuluje zrównoważone podejście do zagospodarowania urobku i wskazuje, że osady, podobnie jak materiały oraz surowce, powinny pozostawać w gospodarce tak długo, jak jest to możliwe, a wytwarzanie odpadów powinno być jak najbardziej zminimalizowane. Gospodarka o obiegu zamkniętym (GZO) wskazuje urobek jako „zasoby”, które mogą być wykorzystane w sposób przynoszący korzyści, w przeciwieństwie do traktowania urobku jako odpadu wymagającego unieszkodliwienia.

Pogłębianie jest niezbędne do utrzymania i rozwoju portów i przystani, żeglugowych dróg wodnych, zbiorników wody pitnej lub produkcji energii itp. Zarówno prace pogłębiarskie, jak i składowanie urobku mogą mieć wpływ na środowisko. Dlatego wspólnym celem zarządzania każdym projektem powinno być osiągnięcie trwałego rozwiązania, w którym osad będzie wykorzystany w systemach naturalnych i/lub w gospodarce. Zagospodarowanie wydobytych osadów wymaga kompleksowego rozważenia ryzyka i korzyści wynikających ze zrównoważonego gospodarowania osadami.

Organizacja SedNet od początku swojej działalności podkreślała, że cele RDW można osiągnąć tylko wtedy, gdy osady zostaną uwzględnione w PGWD. Wysiłki SedNet'u przyczyniły się do stworzenia koncepcji zarządzania osadami w dorzeczu, która została zweryfikowana na przykładzie zlewni Łaby. Uzyskane wyniki, które wyraźnie wskazywały, że zanieczyszczenia osadów i słabe warunki hydromorfologiczne są najważniejszymi ponadregionalnymi problemami w zarządzaniu zasobami wodnymi, zostały wykorzystane jako argument popierający włączenie osadów do drugiego cyklu planistycznego PGWD (na okres 2015–2021) dla głównych rzek Europy. Ekspertzy wchodzący w skład SedNet'u uczestniczyli w opracowaniu dokumentu dotyczącego zarządzania osadami w ramach wspólnej strategii wdrażania RDW (Ausili i in., 2022). Dokument CIS dostarczył szczegółowych rekomendacji określających sposób uwzględnienia osadów w PGWD.

PRZYKŁADY MIĘDZYNARODOWYCH PROJEKTÓW BADANIA OSADÓW W EU

Dzięki zmianie podejścia do zarządzania zasobami wodnymi w Europie i aktualizacji zaleceń RDW problemy związane z zarządzaniem osadami zyskały „bardziej wymierne” zainteresowanie, a większość krajów europejskich prowadzi lub zamierza prowadzić monitoring osadów dennych (w skali regionalnej lub krajowej). Poza tym w ostatnich latach realizowano w Europie kilka międzynarodowych projektów poświęconych tematyce badania osadów o szeroko zakrojonych celach. Badaniami były objęte takie rzeki jak: Dunaj, Łaba, Moza, Ren i Sawa (Ausili i in., 2022).

Ciekawym przykładem badań poświęconych tematyce zarządzania zanieczyszczonymi osadami jest partnerski projekt pn. *Sullied sediments. Sediment assessment and clean up pilots in inland waterways in the North Sea Region* (2017–2020). Jego celem było wsparcie decydentów oraz podmiotów zarządzających zasobami wodnymi w podejmowaniu odpowiednich decyzji (związanych z za-

rządzeniem, usuwaniem i oczyszczaniem osadów), skutkujących obniżeniem kosztów ponoszonych przez organizacje sektora państwowego i prywatnego. W związku z tym były rozwijane i testowane nowe narzędzia, które umożliwiłyby interesariuszom lepsze rozpoznanie i ochronę środowiska wodnego przed zanieczyszczeniem substancjami chemicznymi (Sullied Sediments, 2021).

Założeniem innego międzynarodowego projektu pn. *Sediment-quality information, monitoring and assessment system to support transnational cooperation for joint Danube basin water management* (akronim SIMONA; realizowanego w latach 2018–2021) było wypracowanie m.in. strategii odpowiadającej aktualnemu zapotrzebowaniu na wiarygodne i porównywalne pomiary oraz metody oceny jakości osadów wód powierzchniowych w zlewni Dunaju. Efektem realizacji tego projektu było przedstawienie gotowego do wdrożenia systemu informacji, monitorowania i oceny jakości osadów w celu wspierania współpracy międzynarodowej na rzecz wspólnego zarządzania wodami w zlewni rzeki Dunaj (SIMONA, 2021).

NOWE STRATEGIE I KIERUNKI W BADANIACH OSADÓW

Opublikowany w 2022 r. przewodnik CIS *Integrated sediment management. Guidelines and good practices in the context of the Water Framework Directive* precyzuje rolę osadów w osiąganiu celów RDW i zawiera instrukcje postępowania z presjami wpływającymi na ilość zanieczyszczonych osadów w kontekście PGWD. Dokument opiera się na koncepcji zintegrowanego zarządzania osadami, uważanej za najbardziej odpowiednie podejście do gospodarowania osadami. Podkreśla rolę osadów w polityce RDW oraz innych unijnych przepisach. W przewodniku omówiono praktyczne metody, narzędzia i przykłady ich zastosowania. Został on skierowany do decydentów odpowiedzialnych za opracowywanie zarówno planów PGWD, jak i planów lokalnych, a także do realizatorów, specjalistów i naukowców wspierających wdrażanie RDW. Ponieważ dokument promuje zintegrowane podejście, które uwzględnia wszystkie kwestie związane z osadami i ich wykorzystaniem, grupa docelowa adresatów obejmuje również decydentów odpowiedzialnych za tworzenie polityk związanych z energetyką, nawigacją, rolnictwem, ryzykiem powodzi i suszy, różnorodnością biologiczną, zmianami klimatu, zarządzaniem obszarami zanieczyszczonymi (w tym glebą i wodami podziemnymi) oraz innych wytycznych środowiskowych (Ausili i in., 2022).

W dokumencie zostały uwzględnione następujące aspekty zarządzania osadami w kontekście RDW: dynamika osadów od wód górskich po morza, ilość osadów, zanieczyszczenie osadów, zintegrowane planowanie zarządzaniem osadami. W sposób szczegółowy zostały omówione następujące zagadnienia:

- procesy transportu osadów w rzece w skali zlewni i znaczenie osadów dla ekosystemów wodnych, a także wymagania RDW oraz inne powiązane polityki dotyczące ilości osadów i ich zanieczyszczenia;
- niezbędne narzędzia i wiedza do oceny i uwzględnienia wpływu różnych rodzajów presji na ilość osadów w kontekście RDW;
- zmiany proporcji ilości osadów i ich składu w różnych skalach przestrzennych i czasowych – gromadzenie, stałość, brak lub nadmiar osadów wymaganych do wspie-

rania procesów naturalnych i tworzenia charakterystycznych siedlisk;

- ocena zmiany ilości osadów (główne narzędzia i metody takiej oceny, monitorowanie osadów, określenie efektywnych środków optymalizacji dynamiki zmian ilości osadów);

- zanieczyszczenia osadów w kontekście wszystkich substancji (w szczególności substancji toksycznych i składników odżywczych) z wyłączeniem mikrocząstek plastiku;

- ocena presji związanych z zanieczyszczeniem osadów (zrozumienie przyczyn zanieczyszczenia) oraz określenie najbardziej odpowiednich środków zapobiegających zanieczyszczeniu u źródła i sposobów rozwiązywania problemów już zanieczyszczonych osadów;

- zintegrowane planowanie gospodarowania osadami w kontekście PGWD;

- koncepcja opracowywania zintegrowanych planów (metodologia i rekomendacje do realizacji założeń) przygotowanych na podstawie doświadczeń i studiów przypadku gospodarowania osadami w różnych częściach Europy.

Ponadto w przewodniku CIS przedstawiono osiągnięcia kilkunastu projektów związanych z zarządzaniem osadami w Europie. Opisane zostały przykłady dla rzek: Dunaj, Łaba, Moza, Ren, Aragon i Sawa. Dodatkowo zostały zestawione aktualnie stosowane metody opróbowania i szacowania ilości materii zwieszanej (zawiesiny) transportowanej i gromadzonej na dnie rzek (Ausili i in., 2022).

Wskazując na kierunki badań osadów ściekowych zaznaczono, że jednym z kluczowych postulatów polityki ochrony środowiska realizowanej na szczeblu globalnym jest zmniejszenie emisji dwutlenku węgla. Z tego powodu podejmowane są próby badania „reakcji” osadów na zmiany klimatu i ich zdolności do sekwestracji węgla. W jednym z projektów zauważono, że w ostatnim czasie nie tylko zwiększyło się tempo akumulacji osadów w Adriatyku i Morzu Czarnym (mających bardzo różną morską charakterystykę), ale też zaobserwowano w nich podwyższenie zawartości węgla (zarówno organicznego, jak i nieorganicznego). Zjawisko to zostało skorelowane ze zmianami zawartości atmosferycznego CO₂, co może stanowić przesłankę wskazującą, że osady mają potencjał do pełnienia istotnej roli w regulacji klimatu na Ziemi (Vinković i in., 2022).

Inne badania, oparte na modelowaniu zmian przestrzennego i czasowego rozkładu cząstek osadu w zbiornikach w zależności od prognozowanych zmian klimatu, pokazały prawdopodobny negatywny scenariusz wystąpienia w przyszłości zwiększonej mobilności drobniejszych frakcji cząstek osadu w zbiornikach wodnych (Wilk i in., 2022).

Kolejnym z wyzwań w obszarze ochrony środowiska jest stale rosnąca kumulacja mikroplastiku w środowisku morskim (ale w lądowym też). Badania naukowe mają na celu określenie zawartości mikrocząstek plastiku w powierzchniowych osadach mórz, uwzględniając takie parametry jak: ilość, rozmieszczenie, kształt, kolor, rozmiar i rodzaj polimeru mikroplastiku, a także najważniejsze źródła tego zanieczyszczenia (Bošković i in., 2022). Wiedza na temat wpływu mikroplastiku na ekosystemy i zdrowie ludzi jest bardzo ograniczona i pozostawia dużo niepewności, dlatego ważne jest zbadanie związku pomiędzy działalnością człowieka, rozmieszczeniem i typologią mikrocząstek plastiku oraz ustalenie jakie zmiany wywołują one w jakości ekosystemu wodnego.

PODSUMOWANIE

Działalność człowieka wpływa zarówno na ilość, jak i jakość osadów w ciekach i zbiornikach wodnych, dlatego konieczne staje się podejmowanie odpowiednich działań ukierunkowanych na racjonalne gospodarowanie aluwiami. Procesy zarządzania osadami, których efektem ma być osiągnięcie celów środowiskowych (np. zachowanie siedlisk) i/lub zaspokojenie potrzeb ludzi (np. pogłębianie w celu utrzymania żeglugi), powinny być realizowane z uwzględnieniem dostępnych narzędzi administracyjnych (EEA, 2018). Oznacza to konieczność rozpoznania istniejących planów zarządzania osadami, jak również integracji z nowymi, które dopiero będą obowiązywać. Zaleca się, aby plany zarządzania osadami były sporządzane na mocy RDW, PGWD, Europejskiej Dyrektywy Siedliskowej i Dyrektywy Ramowej w Sprawie Strategii Morskiej. Spójny model koncepcyjny w skali dorzecza umożliwia uwzględnienie różnych funkcji i zastosowań osadów występujących w różnych lokalizacjach przestrzennych w obrębie dorzecza i funkcjonujących w różnych przedziałach czasowych. Dotychczasowe obserwacje z badania osadów pokazują, że skuteczne zarządzanie osadami wymaga holistycznego podejścia opartego na: 1) zrozumieniu systemu zarówno pod względem jakościowym jak i ilościowym, 2) zintegrowanym gospodarowaniu glebą, wodą i osadami, 3) zachowaniu relacji procesów hydrologicznych w całym obszarze dorzecza (*upstream-downstream linkages of hydrological processes*) oraz 4) ponadregionalnej i transgranicznej współpracy.

Powszechnie obserwowany jest wzrost presji chemicznej na zbiorniki wodne i przekroczenia „wartości granicznych”. W Europie lista używanych, rozpraszanych lub sprzedawanych chemikaliów stale się wydłuża. Obecnie w użyciu jest co najmniej 450 pestycydów będących składnikami ponad 1700 preparatów stosowanych w rolnictwie i ponad 3000 farmaceutyków (Wolfram i in., 2021). Zarejestrowanych jest ponad 20 000 chemikaliów przemysłowych (EFSA, 2013). Ekosystemy wodne są narażone na chemikalia pochodzące zarówno ze źródeł punktowych (np. zrzuty ścieków), jak i rozproszonych (np. drenażu z pól uprawnych) (Stone i in., 2014a, b; Stehle i in., 2018). Dlatego zrozumienie rzeczywistej dynamiki zanieczyszczeń w systemach wodnych i wynikających z tego zagrożeń dla środowiska może być osiągnięte tylko poprzez zastosowanie odpowiednich i ujednoliconych procedur pobierania próbek, referencyjnych metod pomiarowych oraz kryteriów oceny jakości osadów. Jednak w Europie wciąż brakuje spójnych i zharmonizowanych wytycznych mających na celu rozpoznanie stanu chemicznego osadów i tylko niektóre kraje posiadają formalnie usankcjonowane przepisy regulujące monitoring jakości osadów. Z tego powodu osiągnięcie wymiernego efektu ekologicznego w skali regionalnej staje się trudne, choć nie bez znaczenia pozostają inicjatywy lokalne.

Wprowadzenie do polskiego systemu monitoringu jakości środowiska obowiązku badań polegających na równoczesnym pobieraniu próbek osadu, organizmów żywych i wody w poszczególnych punktach pomiarowo-kontrolnych / na tych samych JCWP, dostarczyłoby wiarygodnej i kompleksowej informacji o stanie ekosystemów oraz zachodzących w nich zmianach. Realizacja tego postulatu miałaby przełożenie zarówno na kwestie związane z polityką ochrony środowiska, jak też i gospodarką.

Autorzy niniejszego artykułu składają serdeczne podziękowania Paniom Recenzentkom – prof. Annie Pasiecznej i prof. Barbarze Gworek za merytoryczne uwagi i komentarze, które przyczyniły się do poprawy pierwotnej wersji artykułu. Artykuł przygotowano w ramach środków przeznaczonych na działalność statutową PIG-PIB, zadanie nr 61.9108.2200.00.

LITERATURA

- ALBANESE S., DE VIVO B., LIMA A., CICHELLA D. 2007 – Geochemical background and baseline values of toxic elements in stream sediments of Campania region (Italy). *J. Geochem. Explor.*, 93 (1): 21–34.
- ANZECC/ARMCANZ, 2000a – Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council / Agricultural and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra.
- ANZECC/ARMCANZ, 2000b – Australian guidelines for water quality monitoring and reporting. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council / Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra, ACT.
- APITZ S.A. 2019 – Assessing sediment chemical status in Europe: Frameworks, standards and approaches, now and into the future. Presentation at 10th International Conference on the Remediation and Management of Contaminated Sediments, 11–14.02.2019 New Orleans, USA; <https://sednet.org/wp-content/uploads/2019/05/S.-Apitz-ppt.pdf>
- AUSILI A., BOROWIEC P., BOUGHABA J., BRANCHE E., BRILIS J. i in. 2022 – CIS Integrated sediment management. Guidelines and good practices in the context of the Water Framework Directive.
- AUTRALIAN GOVERNMENT INITIATIVE, 2022 – <https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/framework> (dostęp: 16.11.2022 r.).
- BABUT M.P., AHLF W., BATLEY G.E., CAMUSSO M., DEN BESTEN P.J., DE DECKERE E. 2005 – International overview of sediment quality guidelines and their uses. [W:] Wenning R.J., Batley G.E., Ingersoll C.G., Moore D.W. (red.), Use of sediment quality guidelines and related tools for the assessment of contaminated sediments. SETAC, Pensacola, 267–310.
- BAKKE T., KÄLLQVIST T., RUUS A., GIJS D., BREEDVELD G.D., HYLLAND K. 2010 – Development of sediment quality criteria in Norway. *J. Soils Sediments.*, 10: 172–178.
- BATLEY G.E., WARNE M.S.J. 2017 – Harmonization of water and sediment quality guideline derivation. *Integr. Environ. Assess. Manag.*, 13 (3): 458–459.
- BOJAKOWSKA I., SOKOŁOWSKA G. 1998 – Geochemiczne klasy czystości osadów wodnych. *Prz. Geol.*, 46 (1): 49–54.
- BOŠKOVIĆ N., JOKSIMOVIĆ D., PEROŠEVIĆ-BAJČETA A., PEKOVIĆ M., BAJT O. 2022 – Distribution and characterization of microplastics in marine sediments from the Montenegrin coast. *J. Soils Sediments.*, 22: 2958–2967.
- BRILIS J. 2008 – Sediment monitoring and the European Water Framework Directive. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita*, 44: 218–223.
- BRILIS J. 2020 – Including sediment in European River Basin Management Plans: twenty years of work by SedNet. *J. Soils Sediments.*, 20: 4229–4237.
- BURTON A.G. JR. 2002 – Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*, 3: 65–75.
- CALMANO W., AHLF W., FÖRSTNER U. 1996 – Sediment quality assessment: chemical and biological approaches. [W:] Calmano W., Förstner U. (red.), *Sediments and toxic substances*. Environ. Sci. Springer, Berlin, Heidelberg.
- CASADO-MARTINEZ M.D.C., WILDI M., FERRARI B.J.D., WERNER I. 2018 – Prioritization of substances for national ambient monitoring of sediment in Switzerland. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 25 (4): 3127–3138.
- CASADO-MARTINEZ M.D.C., WILDI M., FERRARI B.J.D., WERNER I. 2022 – Strategy for sediment quality assessment in Switzerland. Technical report prepared for the Federal Office of the Environment. Swiss Centre for Applied Ecotoxicology. Lausanne.
- CCME, 1995 – Protocole pour l'élaboration de recommandations pour la qualité des sédiments en vue de la protection de la vie aquatique. CCME EPC-98 F. <http://ceqg-rqge.ccme.ca/download/fr/138> (dostęp 16.11.2022 r.).
- CCME, 2021 – Canadian sediment quality guidelines. <https://ccme.ca/en/resources/sediment> (dostęp: 16.11.2022 r.).
- DUDÁS K.M., JORDAN G. 2021 – The SIMONA Project Team. Sediment quality evaluation protocol for HSS. EU Interreg Danube Transnational Programme.
- EC, 1991 – Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources.
- EC, 2000 – Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community

- action in the field of water policy. Official Journal of the European Union L 327, 22/12/2000, 1–73.
- EC, 2008 – Directive 2008/105/EC of the European Parliament and the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council L 348, 84–97.
- EC, 2009 – Guidance on surface water chemical monitoring under the Water Framework Directive. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance Document No. 19. Technical Report – 2009–025. Office for Official Publications in the European Communities, Luxembourg.
- EC, 2010 – Guidance on chemical monitoring of sediment and biota under the Water Framework Directive. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance Document No. 25. Technical Report – 2010–055. Office for Official Publications in the European Communities, Luxembourg.
- EC, 2011 – European Technical Guidance document (TGD) for Deriving Environmental Quality Standards. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document No. 27. Technical Report – 2011–055. Office for Official Publications in the European Communities, Luxembourg.
- EC, 2013 – Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the Council of 12 August 2013 amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy Text with EEA relevance.
- EC, 2018 – European Technical Guidance document (TGD) for Deriving Environmental Quality Standards. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document No. 27. Technical Report – 2011–055. Update 2018. Office for Official Publications in the European Communities, Luxembourg.
- EC, 2022 – Commission Implementing Decision (EU) 2022/1307 of 22 July 2022 establishing a watch list of substances for Union-wide monitoring in the field of water policy pursuant to Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council.
- ECCC, 2022 – Evaluation of project designs for contaminated sediment management. User guide. En14-481/2022E-PDF. Canada.
- ECHA, 2008 – Guidance on information requirements and chemical safety assessment. European Chemicals Agency.
- EEA, 2018 – European waters. Assessment of status and pressures 2018. EEA Report No 7/2018. Publications Office of the European Union. Luxembourg.
- EFSA, 2013 – Guidance on tiered risk assessment for plant protection products for aquatic organisms in edge-of-field surface waters. EFSA J. 11 (7), 3290.
- GAŁUSZKA A., MIGASZEWSKI Z.M., 2011 – Geochemical background – an environmental perspective. Mineralogia, 42 (1): 7–17.
- GIOŚ, 2024 – <https://www.gov.pl/web/gios/ceel-badan-osadow-denny-ch-rzek-i-jezior> (dostęp: 10.02.2024 r.).
- GIOŚ, 2021 – Stan zanieczyszczenia osadów dennych rzek i jezior w 2020 roku. Monitoring osadów dennych rzek i jezior w latach 2020–2021. Zadanie 1B-1.
- GUS, 2024 – <https://stat.gov.pl/metainformacje/slownik-pojec/pojecia-stosowane-w-statystyce-publicznej/3305.pojecie.html> (dostęp: 10.02.2024 r.).
- HEISE S., FÖRSTNER U. 2007 – Risk assessment of contaminated sediments in river basins-theoretical considerations and pragmatic approach. J. Environ. Monit., 9 (9): 943.
- ISO, 2021 – 6107:2021 Water quality – Vocabulary. Genewa.
- JORDAN G., DUDÁS K.M. 2021 – Report on Output T4.1 Reports on national methods and databases (SIMONA project). EU Interreg Danube Transnational Programme.
- LEPPANEN M.T., SOURISSEAU S., BURGESS R.M., SIMPSON S.L., SIBLEY P., JONKER M.T.O. 2024 – Sediment Toxicity Tests: A critical review of their use in environmental regulations. Environ. Toxicol. Chem., 43 (8): 1697–1716.
- MacDONALD D.D., INGERSOLL C.G., BERGER T.A. 2000 – Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. Alch. Environ. Contam. Toxicol., 39: 20–31.
- NAWROT N., WOJCIECHOWSKA E., MOHSIN M., KUITTINEN S., PAPPINEN A., REZANIA S. 2021 – Trace Metal Contamination of bottom sediments: A review of assessment measures and geochemical background determination methods. Minerals, 11 (872): 1–32.
- REACH, 2006 – Regulation (EC) 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/E.
- REIMANN C., FABIAN K., BIRKE M., FILZMOSER P., DEMETRIADES A., NEGREL P., OORTS K., MATSCHULLAT J., DE CARITAT P. 2018 – The GEMAS Project Team GE-MAS: Establishing geochemical background and threshold for 53 chemical elements in European agricultural soil. Appl. Geochem., 8 (B): 302–318.
- SCHÜTTRUMPF H., BRINKMANN M., COFALLA C., FRINGS R.M., GERBERSDORF S.U., HECKER M., HUDJETZ S., KAMMANN U., LENNARTZ G., ROGER S., SCHÄFFER A., HOLLERT H. 2011 – A new approach to investigate the interactions between sediment transport and ecotoxicological processes during flood events. Environ. Sci. Eur., 23 (39): 1–5.
- SedNet, 2014 – Moving Sediment Management Forward – The Four SedNet Messages. <https://sednet.org/download/Moving-Sediment-Management-Forward.pdf> (dostęp: 8.04.2024 r.).
- SIMONA, 2021 – https://www.interregdanube.eu/uploads/media/approved-project_output/0001/39/ee566924f1764d4798dc7bb9b59537ce84d98-101.pdf (dostęp: 16.08.2022 r.).
- SIMPSON S., BATLEY G. (red.) 2016 – Sediment quality assessment: A Practical Guide 2nd edn. CSIRO Publishing.
- STEHLÉ S., BUB S., SCHULZ R. 2018 – Compilation and analysis of global surface water concentrations for individual insecticide compounds. Sci. Total Environ., 639: 516–525.
- STONE W.W., GILLIOM R.J., MARTIN J.D. 2014a – An overview comparing results from two decades of monitoring for pesticides in the Nation's streams and rivers, 1992–2001 and 2002–2011. 5154 Reston, VA.
- STONE W.W., GILLIOM R.J., RYBERG K.R. 2014b – Pesticides in U.S. Streams and Rivers: Occurrence and Trends during 1992–2011. Environ. Sci. Technol., 48 (19): 11025–11030.
- STRATEGICZNY PROGRAM PMS, 2020 – Strategiczny Program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2020–2025. GIOŚ.
- SULLIED SEDIMENTS, 2021 – <https://northsearegion.eu/sullied-sediments/> (dostęp: 16.08.2022 r.).
- US EPA, 2015 – Climate change adaptation technical fact sheet: Contaminated sediment remedies. EPA 542-F-15-009. Office of Superfund Remediation and Technology Innovation.
- US EPA, 2005 – Guidance manual to support the assessment of contaminated sediments in freshwater ecosystems volume 1. Ecosystem-based framework for assessing and managing contaminated sediments. Great Lakes National Program Office. Chicago.
- US EPA, 2003 – Procedures for the derivation of equilibrium partitioning sediment benchmarks (ESBs) for the protection of benthic organisms: PAH mixtures. Report No. EPA-600-R-02-013. US Environmental Protection Agency Office, Office of Research and Development. Washington, DC.
- US EPA, 1998 – EPA's Contaminated sediment management strategy. Office of Water, Washington, DC.
- US EPA, 1992 – Sediment classification methods compendium. EPA 823-R-92-006, Office of Water, Washington, DC.
- US EPA, 1987 – Overview of sediment quality in the United States. Office of Water, Washington, DC.
- USTAWA z dnia 20 lipca 1991 r. o Inspekcji Ochrony Środowiska. Dz. U. z 2024 r. poz. 425 t.j.
- USTAWA z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne. Dz. U. z 2023 r. ze zm.t.j.
- VINKOVIĆ A., LAPTYEV G., YAPRAK G., SLAVOVA K., JOKSIMOVIC D., TROSKOT-ČORBIĆ T., FRONTASYEVA M., DULIU O., BYLYKU E., SHYTI M., HUMBATOV F., NUHANOVIC M., SMJEČANIN N., NONOVA T., DOBREV L., PASHALIDIS I., MELIKADZE G., IOANNIDOU A., TSABARIS C., OBHODAS J. 2022 – Could atmospheric carbon be driving sedimentation? J. Soils Sediments., 22: 2912–2928.
- WENNING R.J., BATLEY G.E., INGERSOLL C.G., MOORE D.W. (red.) 2005 – Use of sediment quality guidelines and related tools for the assessment of contaminated sediments. Soc. Environ. Toxicol. Chem. (SETAC) Press, Pensacola.
- WILK P., SZLAPA M., HACHAJ P.S., ORLIŃSKA-WOŹNIAK P., JAKUSIK E., SZALIŃSKA E. 2022 – From the source to the reservoir and beyond – tracking sediment particles with modeling tools under climate change predictions (Carpathian Mts.). J. Soils Sediments., 22: 2929–2947.
- WOLFRAM J., STEHLÉ S., BUB S., PETSHICK L.L., SHULTS R. 2021 – Water quality and ecological risks in European surface waters – Monitoring improves while water quality decreases. Environ. Int., 152: 106479.
- ZOPPINI A., ADEMOLLO N., AMALFITANO S., CASELLA P., PATROLECCO L., POLESSELLO S. 2014 – Organic priority substances and microbial processes in river sediments subject to contrasting hydrological conditions. Sci. Total Environ., 484: 74–83.

Praca wpłynęła do redakcji 19.06.2024 r.

Akceptowano do druku 19.08.2024 r.