

O wodzie



INSTYTUT PROBLEMÓW
WSPÓŁCZESNEJ CYWILIZACJI

im. Marka Dietricha

Warszawa 2025

Instytut Problemów Współczesnej Cywilizacji im. Marka Dietricha, założony w roku 1996, jest międzyuczelnianą jednostką wykonującą zadania badawcze i edukacyjne dotyczące problemów współczesnej cywilizacji oraz podejmującą działania na rzecz integracji społeczności akademickiej. Aktualnie Instytut działa na podstawie porozumienia zawartego przez:

- Politechnikę Warszawską
- Szkołę Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
- Uniwersytet SWPS
- Uniwersytet Warszawski
- Warszawski Uniwersytet Medyczny

Działalność Instytutu jest nadzorowana przez **Kolegium Rektorów**, w skład którego wchodzi rektorzy uczelni – stron porozumienia.

Rada Instytutu

prof. Tomasz Borecki
prof. Andrzej Eliaz
prof. Marek Krawczyk
prof. Józef Lubacz – przewodniczący
prof. Zbigniew Marciniak
prof. Jan Szmidt

Od strony organizacyjnej IPWC jest jednostką Politechniki Warszawskiej.

Biuro Instytutu

ul. Koszykowa 75, lok. 43

00-662 Warszawa

tel.: +48 22 234 70 07

e-mail: instytut.ipwc@pw.edu.pl

[www: ipwc.pw.edu.pl](http://www.ipwc.pw.edu.pl)

Instytut Problemów Współczesnej Cywilizacji
im. Marka Dietricha

O wodzie

pod redakcją Zbigniewa Kledyńskiego

Warszawa 2025

© Copyright by Instytut Problemów Współczesnej Cywilizacji im. Marka Dietricha
Warszawa 2025

Instytut Problemów Współczesnej Cywilizacji im. Marka Dietricha
ul. Koszykowa 75 lok. 43, 00-662 Warszawa
tel. +48 22 234 70 07
e-mail: instytut.ipwc@pw.edu.pl
www.ipwc.pw.edu.pl

ISBN 978-83-89871-58-9

Druk i oprawa: Drukarnia Oficyny Wydawniczej Politechniki Warszawskiej
tel. 22 234 70 30

SPIS TREŚCI

Zbigniew Kledyński

O wodzie, możliwie konkretnie	5
-------------------------------------	---

Piotr Kowalczak

Wielkość i zmienność czasoprzestrzenna zasobów wodnych Polski – główne problemy w gospodarowaniu wodą	27
--	----

Marek Jerzy Gromiec, Małgorzata Marciniewicz-Mykieta

Stan jakości krajowych wód powierzchniowych	59
---	----

Edward Pierzgalski, Janusz Czerepko

Zagrożenia lasu związane z wodą	89
---------------------------------------	----

Jerzy Kozyra, Jacek Niedźwiecki, Rafał Wawer

Rolnictwo klimatycznie inteligentne jako odpowiedź na stres wodny	111
--	-----

Roman Rolbiecki

Woda w rolnictwie – nawadnianie jako czynnik warunkujący stabilność produkcji roślinnej	131
--	-----

Paweł Falaciński, Anna Sosnowska

Woda w mieście	157
----------------------	-----

Autorzy rozdziałów	185
--------------------------	-----

Wydawnictwa Instytutu Problemów Współczesnej Cywilizacji im. Marka Dietricha	187
---	-----

O WODZIE, MOŻLIWIE KONKRETNIE

ZBIGNIEW KLEDYŃSKI

„Nie ma nic lepszego nad wodę.”

Pindar (518–438 r. p.n.e.)

„Wszystkie rzeczy, przynajmniej te, które znamy, zawierają liczbę.”

Filolaos (470–390 r. p.n.e.)

„Refleksja może się odbywać jedynie z zastosowaniem słów,
które przeobrażają jej sens, ale słowa nie mogą decydować
o nowym znaczeniu słów.”

Simone Weil (1909–1943)

Przemyślenia dotyczące pojęcia wartości, 1941

O tym, że woda jest ważna nie trzeba przekonywać. Może wobec współczesnie uświadamianych sobie zagrożeń, zwłaszcza niedoboru wody, sprowadzamy ją do „niezbędnika” egzystencji, materializujemy i przez to duchowo wyjaławiamy, ale warto pamiętać, że żywioł wodny był także inspirującym przedmiotem rozważań filozofów; dość wspomnieć pojęcie pitagorejskiej Jedni lub przypisywane Heraklitowi słynne *Πάντα ῥεῖ* etc. Tym razem, za Pindarem, chciałem podkreślić, że woda jest szczególną wartością; niektórzy tłumaczenia proponują zamiast słowa *najlepszym* – *najszlachetniejszym*, co wydaje się wskazywać, że dobra jakim jest woda nie sposób sprowadzić do ekonomii, że jako współdzielona wpływa na nasze relacje ze światem.

Zamysłem doboru i ujęcia treści tej książki było uczynienie z bilansowania zasobów wodnych i potrzeb wodnych, które jest sednem gospodarki wodnej, platformy integracji wielu aspektów i różnych sposobów uprawiania tego gospodarowania. To w szczegółach oraz różnych skalach przestrzennych i czasowych jest trudne, ale bez niezbędnej kwantyfikacji i trzeźwego rachunku potrzeb i dostępnych zasobów wodnych (w konsekwencji także rachunku ekonomicznego) żadne pokolenie nie osiągnie niezbędnego kompromisu i oczekiwanych celów zrównoważonego korzystania z wód. Stąd więc wzięła się prośba do Autorów rozdziałów o aspekty ilościowe przedstawianych zagadnień, co nie zawsze było obiektywnie możliwe, ale identyfikacja braku danych może doprowadzić do ich uzupełnienia w nowych badaniach. Hasło: liczymy, liczymy i jeszcze raz liczymy, „patronuje” pitagorejczyk Filolaos, którego poglądy oddaje przywołane zdanie (nie ma pewności, czy oryginalne, ale na pewno oddające sens pitagorejskiej filozofii rzeczywistości).

Gospodarka wodna jest w podstawowym sensie powszechna, a merytorycznie wielodyscyplinarna. Ze względu na swój przedmiot może angażować interesariuszy o bardzo różnym przygotowaniu, co w przypadku dyskursu zainteresowanych stron sprawia, że jego uczestnicy bardzo często posługują się różnymi, obcymi sobie, językami. Trudno o porozumienie, gdy słowa znaczą raz jedno, a raz drugie, gdy są interpretowane w różny sposób. I tu pojawiają się słowa Simone Weil, które wskazują, że „zagadywanie” znaczenia słów słowami prowadzi na manowce, że znaczenie powinno wynikać z weryfikowalnej rzeczywistości, że to tylko całość niesie sens. Pobrzmiewa w tym oczywiście inspiracja Filolaosa, a więc i nadzieja, że w rachowaniu jest siła oczywistości, a w niej i siła argumentacji. Do tej nadziei, kiedy sztuczna inteligencja podbija nowe obszary ludzkiej aktywności, dodać należy zastrzeżenie, że obliczenia – zwłaszcza skomplikowane – muszą bazować na adekwatnym opisie ich przedmiotu.

*

Mówiąc woda, myślisz o...

To zdanie lub otwarte pytanie nie jest zaproszeniem do quizu, a niniejsze opracowanie nie jest też omówieniem wielkiej liczby możliwych skojarzeń – odpowiedzi, jakie mogą nam przyjść do głowy. W istocie rzeczy bowiem

każda z nich dałaby się sprowadzić do kwestii potrzeb wodnych lub zagrożeń, jakie niesie ten żywioł, sposobów jego wykorzystania lub ochrony przed nim. Jest więc ta książka o zasobach wodnych, w ujęciu jakościowym i ilościowym, o najważniejszych współczesnych wyzwaniach, przed jakimi stoi gospodarowanie wodą, przede wszystkim w Polsce, ale nie tylko. Ograniczona dostępność zasobów wodnych, globalne wymuszenia oraz konieczność adaptacji do zmiennych projekcji przyszłości stawiają problematykę wodną w centrum zainteresowania w zasadzie wszystkich ludzi na świecie. Trudno się temu dziwić, jako że bez wody nie ma życia.

Żyjemy w ciekawych czasach. Znakiem tego jest – jak zwykle w takich okresach – wszechogarniające pobudzenie, wzmożenie przepływu informacji, poglądów, rzadziej spójnych idei. Sprzyja temu efektywna demokratyzacja napędzana eksplozywnym rozwojem technologii informacyjnych, internetowa agora Internetu, której inkluzywność zasadza się na posiadaniu smartfonu. Wolność słowa, zwłaszcza „wklikowywanego”, sprawia z kolei, że ziarna toną wśród plew, a społeczeństwa sieciują i obwarowują się lajkami i fejkami.

W takich okolicznościach toczą się także dysputy o wodzie, jako środowisku życia, zasobie strategicznie ważnym, dobru w wielu przypadkach niezastępowalnym, którego nadmiaru lub niedostatku ludzkość doświadczała i doświadcza nieustannie, a wobec aktualnych wyzwań demograficznych, urbanizacyjnych i klimatycznych doświadczać będzie jeszcze dotkliwiej. Zauważyć można przy tym, że poważny i merytoryczny dyskurs o zasobach wodnych i gospodarowaniu wodą skurczył się, z jednej strony, do cząstkowych i wąskich zagadnień naukowych, a z drugiej strony – praktyczna działalność grzęźnie w politycznie i ideologicznie motywowanych obstrukcjach.

Problematyka wodna była obecna w publikacjach Instytutu Problemów Współczesnej Cywilizacji już kilkakrotnie (IPWC, 2005; IPWC, 2009; IPWC, 2021). Prezentowane teraz opracowanie ma ambicje pokazania wody w kontekście podstawowych wyzwań stojących przed gospodarką wodną, tj. wzrostu liczby ludności świata, urbanizacji oraz wpływu zmian klimatycznych na zasoby wodne i ich dostępność. Lista zagadnień nie jest nowa i opracowań im poświęconych jest bardzo dużo (m.in. Mikulski, 1998; *Gospodarka wodna w Polsce*, 2024). Chodzi o problematykę zaopatrzenia ludności w wodę odpowiedniej jakości, oczyszczanie ścieków, wodę dla gospodarki żywnościowej i przemysłu, wodę dla środowiska naturalnego, zagrożenia

powodziowe itd. Sposobów łagodzenia presji, jakie wywołują przywołane potrzeby i zagrożenia, jest wiele, niektóre – te stosowane od wieków – ujawniają swoje wady, alternatywne i zyskujące społeczną aprobatę – zdają się być tych wad pozbawione; przynajmniej teraz, gdy nie znamy jeszcze wszystkich ich skutków. To, co może pogodzić te rozwiązania, to liczby dające szansę oszacowania efektywności jednych i drugich. Tylko wtedy można je lepiej wykorzystywać, łączyć w systemy i korzystać z premii za synergię.

W gospodarce wodnej funkcjonuje fundamentalne pojęcie bilansu wodnego, który może być naturalny i dotyczyć obiegu wody w przyrodzie, np. w skali świata, kontynentów, krajów, dorzeczy lub zlewni, oraz bilansu wodno-gospodarczego, w którym zestawia się potrzeby wodne z wydajnością (podażą) dostępnych zasobów. W przypadku prezentowanych zagadnień pojawiają się liczby, aby pokazać nie tylko zjawiska, trendy i koncepcje rozwiązań, ale dać wyobrażenie o skali potencjalnych zadań i uwarunkowaniach możliwej skuteczności proponowanych działań. Nie zawsze takie dane są dostępne lub miarodajne. Często ich po prostu nie ma. Mimo to, nie sposób mówić o racjonalnym gospodarowaniu wodą bez próby oceny potrzeb oraz efektywności różnorodnych sposobów ich zaspokojenia, czyli bez bilansowania.

Zasobom wodnym i presjom, głównie antropogenicznym, na te zasoby jest poświęcony tekst Piotra Kowalcza. I chociaż w popularnych mediach dyżurnym porównaniem polskich zasobów wodnych są egipskie, to i bez tego nawiązania Autorowi udaje się wykazać, na liczbach, że już przed dyskursem na temat zmian klimatu Polska była klasyfikowana jako kraj mało zasobny w wodę. Stawiało to Polskę w grupie krajów dotkniętych kryzysem wodnym, co przekładało się i nadal przekłada na „podstawowe problemy w zarządzaniu zasobami wodnymi”.

Ilościowe niedostatki skutkują jakościowymi. Zagadnieniom jakości wód poświęcony jest rozdział zespołu: Marek Gromiec i Małgorzata Marciniwicz-Mykieta. W tekście omówiono zasady, zakres i wyniki monitoringu wód w Polsce, ich klasyfikację oraz postulaty udoskonalenia badań i ocen stanu jakościowego wyodrębnionych części wód. W istocie rzeczy mowa o narzędziu, dzięki któremu można lepiej lokować środki przeznaczone na poprawę stanu wód i lepiej oceniać skuteczność tych nakładów.

Następne artykuły są rozwinięciem zasygnalizowanych kwestii kluczowych: o wodzie w lasach, w rolnictwie i dla rolnictwa oraz o wodzie w miastach.

Edward Pierzgalski z Januszem Czerepko piszą o roli wody w gospodarce leśnej i oddziaływaniach lasów na zasoby wodne. Artykuł dostarcza ciekawych informacji o wpływie lasów na bilanse wodne zlewni rzecznych. Omówiono także bogate programy inwestycyjne, których wdrożenie na terenach Lasów Państwowych ma służyć poprawie stosunków wodnych w lesie. Z punktu widzenia gospodarki wodnej interesujące są ilościowe efekty tych działań, zwłaszcza gdy dotyczą retencjonowania wód. W opisach programów retencyjnych spotyka się wielkości od kilku do kilkunastu mln m³ (tereny górskie) oraz od kilkunastu do kilkudziesięciu milionów m³ (tereny nizinne). Są to wielkości niewielkie, zwłaszcza względem objętości fal powodziowych, ale znaczące w realizacji celów przyrodniczych, które są głównym przedmiotem programów retencyjnych w lasach.

Omawiając kwestię relacji woda – rolnictwo, można zastosować podejście ukierunkowane na „wodę w rolnictwie” lub „wodę dla rolnictwa”. Uogólnieniem obu aspektów może być ujęcie kompleksowe – gospodarowanie wodą na obszarach wiejskich (Mioduszeński, 2009). W pierwszym przypadku docenia się m.in. udział retencji glebowej, śródpolne zbiorniki wodne, udział terenów zielonych w kształtowaniu mikroklimatu, wartości krajobrazowe wód oraz wpływ form ich występowania i wykorzystania na stosunki wodne i bilans zlewniowy. W drugim ujęciu akcent pada na potrzeby wodne produkcji rolnej (Rolbiecki, 2025) oraz jej wpływ na jakościowy i ilościowy stan zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Niewątpliwie najogólniejszym jest podejście zintegrowane, obejmujące oba aspekty oraz relacje między wodą w rolnictwie a wodą m.in. dla rolnictwa; w końcu zasoby są te same. Tak szerokie potraktowanie tematu dokumentuje m.in. *Biuletyn Forum Debaty Publicznej* (Biuletyn, 2011) opracowany na podstawie materiałów i wypowiedzi z debaty „Potencjał obszarów wiejskich szansą rozwoju”, a współcześnie dokument programowy IV Wodnego Okrągłego Stołu *Woda w rolnictwie – zagrożenia i szanse* z 2024 roku (Woda w rolnictwie..., 2024).

Wobec złożoności problematyki wodnej na obszarach wiejskich w niniejszym opracowaniu podjęto tylko jej wybrane wątki, tj. perspektywy wodne dla rolnictwa w świetle zmian klimatu, działania na rzecz zwiększania retencji glebowej oraz kwestię nawodnień – perspektywicznie najistotniejszą z punktu widzenia wpływu na zasoby wodne. Zagadnienia te przedstawili: Jerzy Kozyra, Jacek Niedźwiecki i Rafał Wawer, pracownicy naukowci

Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu Badawczego w Puławach, oraz Roman Rolbiecki z Politechniki Bydgoskiej. W rozdziale pt. „Woda w rolnictwie – nawadnianie jako czynnik warunkujący stabilność produkcji roślinnej” przedstawiono stan nawodnień rolniczych w Polsce, ich uwarunkowania techniczne i ekonomiczne oraz perspektywy rozwoju, natomiast w rozdziale pt. „Rolnictwo klimatycznie inteligentne jako odpowiedź na stres wodny” rozwinięto zagadnienie monitorowania stanu wilgotnościowego gleby i wykorzystania tych informacji do sterowania instalacjami do nawodnień (prace rozwijane w IUNG w Puławach).

Niezależnie od tego, jak szybko i w jakim zakresie będą się rozwijały nawodnienia rolne w Polsce, już teraz obserwuje się niekontrolowane pobory wód podziemnych do tych celów. Ilościowe ograniczenie tzw. zwykłego korzystania z wody, tj. wody własnej, dostępnej na własnym gruncie, najczęściej podziemnej, a więc z wykorzystaniem studni i przeznaczonych na potrzeby własnego gospodarstwa, ustalono w ustawie Prawo wodne z 1962 roku (Ustawa, 1962) i mimo niewielkich korekt wciąż obowiązuje, mimo że współczesne środki techniczne pozyskiwania takich wód umożliwiają bardzo intensywną ich eksploatację. Formalnie to wciąż 5 m³ na dobę. Łatwo oszacować, o jakich poborach mowa, gdyby wszyscy właściciele nieruchomości gruntowych zechcieli zrealizować swoje uprawnienia, nawet w dopuszczalnym zakresie. Wiadomo, że pobory te bywają znacznie wyższe od dopuszczalnych, zwłaszcza do nawodnień lub intensywnej hodowli, ale nie są rejestrowane. Dlatego pożądane jest wprowadzenie ogólnokrajowego rejestru studni (wzorem np. Czech), co może mieć dodatkowe znaczenie w sytuacjach kryzysowych.

O wodzie na terenach zurbanizowanych jest rozdział Pawła Falacińskiego i Anny Sosnowskiej. Autorzy wskazują na wzrost urbanizacji i specyfikę obszarów miejskich, traktowanych nie tylko jako konsument wody i producent ścieków, ale także jako specyficzna zlewnia wód opadowych, o znaczącym udziale spływu powierzchniowego. Autorzy opisują różnego rodzaju rozwiązania mitygujące problemy wodne występujące na takich obszarach; można je traktować jako elementy tzw. zielono-niebieskiego ładu w przestrzeni zurbanizowanej lub jako elementy hydrotechniki miejskiej. Niewątpliwa przydatność tego typu podejścia i przekonanie o jego skuteczności wciąż jeszcze oczekuje na wyniki ocen ilościowych wpływu stosowanych rozwiązań na komfort życia w miastach, ich infrastrukturę i ekonomikę usług

wodnych. Intensywność powodzi miejskich dowodzi konieczności równoległej rozbudowy tzw. szarej (betonowej) infrastruktury retencyjnej miast, najczęściej podziemnej. Wszystkim tym działaniom powinno towarzyszyć uodparnianie budynków i budowli na skutki zalania, czyli tzw. *floodproofing*.

*

Wielkim nieobecnym w prezentowanym opracowaniu, jakkolwiek tylko pozornie, bo nieobecnym w sposób jawny, jest ekologizm. W praktyce jest on w gospodarowaniu wodą obecny od dziesięcioleci, w różnych formach, tym dobitniej, im konkurencja o zasoby wodne staje się większa. Ekologizmowi poświęcono wiele opracowań o charakterze naukowym. Nie przebijają się one do szerszej świadomości społecznej, pozostając jedynie przedmiotem zainteresowania i refleksji wąskich środowisk politologicznych, socjologicznych, filozoficznych etc. (Marczewska-Rytko i Maj, red., 2016). Dzieje się tak m.in. dlatego, że do szerokiej publiczności ekologizm dociera najczęściej poprzez różne formy aktywizmu „ekologicznego”, który bywa krzykliwy i prowokacyjny, a w skrajnych przypadkach nosi znamiona ekoterroryzmu.

Z tego powodu poniżej przedstawiam obszerny skrót z przywołanego opracowania, z syntetyczną charakterystyką ekologizmu, co – jak sądzę – ujednoznacznia rozumienie tego pojęcia, przynajmniej na potrzeby dalszych wywodów.

Ekologizm uważa się za ideologię wzywającą do transformacji stosunku człowieka do środowiska przyrodniczego, w którym on funkcjonuje. Stanowi wyzwanie dla dotychczasowego porządku antropocentrycznego, wskazując na naturalne ograniczenia przyrody, apeluje bowiem o doniosłą zmianę społeczną i ekonomiczną.

Początki ekologizmu rozumianego jako zagadnienie polityczne sięgają połowy XX w. i są ściśle związane z kształtowaniem się ruchu zielonych oraz szerszego znaczeniowo ruchu prośrodowiskowego. Stopniowe przekształcanie pierwotnego pojęcia „ekologia”, przynależnego naukom przyrodniczym, polegające na jego upolitycznianiu oraz teoretyzacji, doprowadziło do powstania bliskich sobie terminów „enwironmentalizm” i „ekologizm”. Są one oparte na paradygmacie, zgodnie z którym funkcjonowanie świata i życie człowieka muszą być analizowane w kontekście środowiska naturalnego. Enwironmentalizm uważa się za umiarkowany zespół poglądów na

współczesne kryzysy ekologiczne, niedeprecjonujący zasadniczo dotychczasowego porządku światowego. Dzięki postępowi technologicznemu i rozpowszechnianiu się wiedzy problemy środowiska mogą zostać rozwiązane bez fundamentalnych zmian w wartościach wyznawanych przez współczesnego człowieka. Ekologizm zaś jawi się jako podejście radykalne, będące wyzwaniem dla wartości antropocentrycznych. Postuluje jakościową zmianę w politycznym rozumieniu świata, wzywa do transformacji relacji między ludźmi i przyrodą, a tym samym do trwałej i globalnej przemiany socjopolitycznej.

Jako ideologia ekologizm obejmuje całe spektrum różnych nurtów, idei i pojęć, a w jego ramach można wyróżnić dwie główne szkoły: minimalistyczną i maksymalistyczną. W odróżnieniu od podejścia maksymalistycznego (*deep ecology*, *radical egologism*) postawę minimalistyczną, zwaną niekiedy *enwironmentalizmem* (*light green*, *ecological modernization*), charakteryzuje sceptycyzm wobec ludzkiej dominacji nad naturą, lęk spowodowany degradacją środowiska wynikającą z oddziaływania cywilizacji, podkreślanie współzależności gatunków z ich środowiskiem. Genezy tego nurtu ekologizmu należy upatrywać w XIX-wiecznym powrocie człowieka do natury. Szkoła maksymalistyczna (...), której narodziny datuje się na lata 60. XX w., wskazuje na konieczność zmiany perspektywy z antropocentrycznej – traktującej priorytetowo potrzeby człowieka – na ekocentryczną. To jej przedstawiciele twierdzą, że nierozłączność ludzi i środowiska naturalnego stanowi podstawę dobrostanu, możliwego do realizowania tylko w zdrowym i stabilnym ekosystemie.

Zgodnie z główną tezą ekologizmu maksymalistycznego człowiek nie ma uprzywilejowanej pozycji w systemie. Dla zwolenników głębokiej ekologii (*deep ecology*) różnorodność jest wartością samą w sobie i nakłada na nich obowiązek zmiany status quo: w zakresie wartości, wzorów produkcji i konsumpcji. Podobnie jak w radykalnym ekologizmie zaznacza się niechęć do modernizacji, globalizacji, konsumpcjonizmu, a preferowane są decentralizacja i kooperatywny styl życia. W wymiarze holistycznym wskazuje się na konieczność respektowania naturalnych ograniczeń, którym podlega człowiek.

Badacze ideologii są zasadniczo zgodni co do specyficznych cech wyróżniających ekologizm. (...) są to jednostkowość – dotyczy każdego człowieka; globalizm – odnosi się do całej planety i wszystkich istot ją zamieszkujących;

holizm – nie ogranicza się do osadzenia człowieka w przestrzeni społecznej, ale obejmuje także środowisko przyrodnicze; romantyzm – wyraża bunt przeciw oświeceniowej wierze w cywilizację; apokaliptyzm – ostrzega przed nagłą, globalną ekologiczną katastrofą (Wyligąła, 2016, s. 223–225).

Wymienione cechy wiążą się z kierunkowymi wartościami ekologizmu, do których zalicza się: wynikające z holizmu przekonanie o prymacie dobrostanu całości nad kondycją jednego czynnika, zrównoważenie oraz etykę środowiska naturalnego akcentującą odpowiedzialność względem przyszłych pokoleń i stosowanie standardów etycznych wobec innych gatunków, a także samorealizację osiąganą w równowadze z naturą. Co ciekawe, *Wokół wyodrębnionych i przedstawionych powyżej wartości kierunkowych ekologizmu toczy się specyficzny dyskurs. W literaturze przedmiotu pojęcie green discourse bazuje na założeniu, że język nadaje kształt naszym doświadczeniom ze środowiskiem, dzięki czemu pozwala wpływać na działania różnych podmiotów i poglądy opinii publicznej w tym obszarze* (Wyligąła, 2016, s. 227). Mamy więc w owym dyskursie sporo językowej manipulacji służącej propagowaniu przekonań, a nie szerzeniu prawdy lub rzetelnej edukacji (Frankfurt, 2022). Stąd też wynika trudność ewentualnego dialogu (Debata oksfordzka, 2023).

Oto tylko trzy przykłady takiego specyficznego dyskursu. Pierwszy dotyczy sloganu: *hydrotechnicy betonują rzeki*, drugi – *renaturyzacji rzek*, jako panaceum na wszystkie problemy wodne, a trzeci: *mokradło jest jak gąbka*. Wszystkie one odwołują się do podświadomych skojarzeń odbiorcy, dotyczących odmiennych okoliczności, ale uważanych przez nadawcę komunikatu za analogię stawianego problemu. W ten sposób powstają mity...

Kiedy eko-aktywista powtarza jak mantrę, że *hydrotechnicy betonują rzeki*, odwołuje się, zwłaszcza w przypadku wielkomiejskiego odbiorcy, do skojarzenia z tzw. betonozą miast. Tymczasem górne oszacowanie objętości betonu wbudowanego w ok. 70 największych polskich budowli piętrzących (zapór), w tym kamiennych, i w części betonowe zapór ziemnych (zapory ziemne dominują liczebnie nad betonowymi) daje liczbę ok. 5 mln m³ i dotyczy okresu ok. 100 lat, w którym te obiekty powstawały. Warto porównać tę liczbę z roczną produkcją betonu towarowego, wykorzystywanego w polskim budownictwie. W 2021 r. było to 26,6 mln m³. Do tego warto dodać, że zapory są punktowe, a w budowlach regulacyjnych, na uregulowanych odcinkach

rzek, stosuje się najczęściej materiały naturalne (kamień i faszynę). Powyższe porównania nie mają na celu gloryfikowania budownictwa betonowego, dla którego nie zawsze jest alternatywa, ale uświadomienie, że w polskiej hydrotechnice nie jest ono doktrynalnie nadużywane. Jednocześnie warto sobie uświadomić z jaką intensywnością ten materiał „absorbują” miasta...

Hasło renaturyzacji otwiera współcześnie wszystkie drzwi, także te do finansowania rozmaitych grantów, z modnymi słowami kluczowymi w tytule. Jeśli jednak przyjrzeć się praktyce renaturyzacji rzek, to najczęściej polega ona na zaniechaniu utrzymania infrastruktury wodno-melioracyjnej na mniejszych ciekach, głównie o znaczeniu rolniczym, lub budowli regulacyjnych (niepiętrzących ostróg lub tam podłużnych) na większych rzekach. Na przykład na kilkudziesięciokilometrowym odcinku Wisły powyżej Warszawy przez ostatnie 20 lat nie wykonano żadnego remontu zabudowy regulacyjnej, a na Wiśle Dolnej, uregulowanej jeszcze przez Prusy, średni czas oczekiwania na stosowne pozwolenia środowiskowe na remont tzw. ostróg wynosi 6 lat.

Bardziej „wyrafinowana” renaturyzacja to próba osiągnięcia takiej morfologii koryta rzeki, którą uznaje się za „naturalną”, tj. sprzyjającą ekosystemom wodnym i od wody zależnym. Często przypomina to działania właściwsze architektury krajobrazu, zwłaszcza gdy pomija się fakt zależności morfologii koryta rzecznoego od charakteru jego zlewni.

Hydrolodzy i hydrotechnicy wiedzą od dawna, że *rzeki są produktem danego środowiska geograficznego i jednocześnie czynnikiem nieprzerwanie wpływającym na jego przeobrażanie* (Wierzbicki, 2003). Czynniki geograficzne pośrednio kształtujące koryta rzek to: klimat w dorzeczu, budowa geologiczna, szata roślinna, ukształtowanie dorzecza. Czynniki bezpośrednie to z kolei: przebieg i wielkość przepływu rzeki, budowa geologiczna oraz morfologiczna koryta i doliny rzeki, rumowisko rzeczne, szata roślinna w dolinie (Wierzbicki, 2003).

Tymczasem w powszechnym odbiorze naturalność rzeki sprowadza się do obecności zakoli i meandrów koryta, starorzeczy i oczek wodnych, piaszczystych łąk i wysp oraz bujnej i zróżnicowanej roślinności oraz fauny. Tak rozumiana renaturyzacja skutkuje przywracaniem krętego biegu cieków i wprowadzaniu do koryta różnego rodzaju elementów spowalniających spływ wody i tworzących przez to zróżnicowane siedliska flory i fauny.

W istocie rzeczy jest to wciąż działalność techniczna, regulacja ukierunkowana prośrodowiskowo, dla której należy każdorazowo ustalić standard docelowy i zadbać o jego stabilność, czyli wesprzeć specyficznymi działaniami utrzymaniowymi. Specyfika owej antropogenicznej „naturalności” jest jednak uwarunkowana „nienaturalną” zlewnią, zwykle znacząco przekształconą (Bałandin, 1981; Banasik i Okruszko, 2009). Niezależnie od sposobu i skutku renaturyzacji zawsze pojawią się jej efekty uboczne, tzn. zmiany dotychczasowych funkcjonalności rzeki i jej sąsiedztwa, co często godzi w innych, dotychczasowych interesariuszy.

Przykładem działań renaturyzacyjnych wpływających na gospodarowanie wodą jest wdrożenie normy GAEC 2 dotyczącej ochrony torfowisk i obszarów podmokłych (Rozporządzenie, 2025a; Rozporządzenie, 2025b). Powierzchnia obszarów użytkowanych rolniczo do objęcia normą GAEC 2 w skali Polski (ustalona według kryterium zawartości materii organicznej w glebie na 40% suchej jej masy w warstwie o miąższości co najmniej 40 cm) wynosi (Wizualizacja GAEC 2, 2025):

- grunty orne – ok. 38,3 tys. ha;
- trwałe użytki zielone – ok. 361,6 tys. ha.

Ograniczenia w sposobie użytkowania tych gruntów sprowadzają się do:

- w przypadku trwałych użytków zielonych:
 - a) nie przekształca się ich i nie zaoruje, z wyłączeniem możliwości wykonania zabiegu renowacji z zastosowaniem płytkiej uprawy gleby i podsiewu nie częściej niż raz na 4 lata,
 - b) nie wydobywa się z nich torfu,
 - c) nie buduje się na nich i nie odnawia rowów i instalacji drenujących do odwadniania lub odprowadzania wody z terenu;
- w przypadku gruntów ornych:
 - a) nie zaoruje się ich, z wyłączeniem możliwości płytkiej uprawy gleby do głębokości 15 cm,
 - b) nie wydobywa się z nich torfu,
 - c) nie buduje się na nich i nie odnawia rowów i instalacji drenujących do odwadniania lub odprowadzania wody z terenu.

Być może opisane działania, skutkujące w praktyce wyłączeniem lub silnym ograniczeniem dotychczasowego sposobu użytkowania ok. 0,4 mln ha użytków rolnych (z łącznej ich powierzchni ok. 18,4 mln ha), nie doprowadzą do istotnego uszczerbku polskiego rolnictwa, tj. także naszego bezpieczeństwa żywnościowego i możliwości eksportowych, ale zasadne jest pytanie o skutki ilościowe dla zasobów wodnych (mokradło, podobnie jak uprawa rolna, jest konsumentem wody) oraz o uzasadnienie rezygnacji z aktywnego kształtowania stosunków wodnych na obszarach z istniejącymi już systemami odwadniająco-nawadniającymi (np. przez ich modernizację i ukierunkowanie na potrzeby torfowisk lub obszarów podmokłych). Pytania te stają się szczególnie ważne w kontekście aktualnych i spodziewanych niedoborów wody. Kwestii wody dla rolnictwa lub środowiska wodnego i od wody zależnego nie można odrywać od zlewniowej gospodarki wodnej.

Działania renaturyzacyjne lub tzw. bliskie naturze nie mogą być dokonywane w oderwaniu od gospodarki wodnej, bez uwzględnienia uzasadnionych potrzeb wielu interesariuszy. Informacja, że renaturyzacja rzek ma tylko dobre skutki nie jest prawdą. Na przykład w Amazonii jest tylko jeden most wysokowodny, nie ma zapór, budowli regulacyjnych etc., a powodzie są permanentne; do tego raz na sto kilkadziesiąt lat niektóre duże rzeki potrafią praktycznie wyschnąć. Zapewne odpowiadają za to kwestie klimatyczne, ale remedium nie polega na renaturyzowaniu rzek, bo i nie ma tam czego renaturyzować. W świetle znanej od dawna wiedzy naturalna rzeka jest „produktem” naturalnej zlewni. Tak więc skuteczna renaturyzacja powinna się zacząć od renaturyzacji zlewni. A jeśli zmiany klimatyczne są co do skali ponadzlewniowe, to sama renaturyzacja rzek nie musi dać pożądanych i trwałych efektów.

Reasumując, renaturyzacja ma swoje dobre strony, głównie dla środowiska przyrodniczego, i nie ma powodu, aby kwestionować ją jako taką. W warunkach zlewni silnie przekształconych będzie ona dotyczyła działań regulacyjnych ukierunkowanych na przyjazną przyrodzie morfologię koryt rzecznych. Chodzi o to, aby działania renaturyzacyjne realizować tam, gdzie to możliwe, z poszanowaniem uzasadnionych interesów wszystkich użytkowników wód i z pełną kontrolą długookresowych skutków podjętych działań, zwłaszcza dla dyspozycyjnych zasobów wodnych.

Mniej więcej na podobnej zasadzie przekonuje się, w czym walny udział mają eko-aktywiści, do odtwarzania mokradeł. Wiedza naukowa na ten temat wskazuje, że mokradła są konsumentami wody, a więc do

tego, aby istniały lub mogły być odtworzone, potrzebne są odpowiednie zasoby wodne. Przytoczmy fragmenty pracy (Okruszko, 2005, s. 39): *Wyniki uproszczonych bilansów wodnych wskazują, że mokradła w zlewni należy traktować przede wszystkim jako użytkowników wody. Mokradła soligeniczne to użytkownicy wód gruntowych, natomiast mokradła fluwiogeniczne to użytkownicy wód powierzchniowych i do pewnego stopnia gruntowych. Rozmija się to z potocznym rozumieniem bagien jako źródła wody lub pewnego typu zbiorników retencyjnych. W większości mokradła można porównać jedynie do zbiorników retencyjnych o określonej pojemności całkowitej i zerowej pojemności użytecznej, gdyż woda zgromadzona w takim zbiorniku nie może być wykorzystana przez pozostałych użytkowników znajdujących się w zlewni. W przypadku mokradeł fluwiogenicznych do tego uproszczonego schematu należy dodać rezerwę powodziową o pojemności równej retencji doliny.*

Nie ma więc mowy o żadnej „mokradłowej gąbce” ani o przepisie na jej „wyciskanie”. Jest natomiast w przywołanej pracy bardzo rozsądne podejście do traktowania mokradeł w szerszym kontekście gospodarowania wodą: *Diagnoza użyteczności mokradeł w gospodarowaniu zasobami wodnymi i planowanie działań ochronnych w zakresie zasilania terenów bagiennych w wodę powinny, zdaniem autora, odbywać się na etapie tworzenia (lub weryfikacji) planów gospodarki wodnej w zlewni. Przyjmując, zgodnie z wytycznymi Ramowej Dyrektywy Wodnej, cztery fazy tworzenia planów gospodarki wodnej w zlewni, to jest:*

- określenie stanu zasobów wodnych i potrzeb wodnych użytkowników,
- identyfikację podstawowych problemów gospodarki wodnej,
- wybór działań usprawniających,
- oraz realizację planu i monitoring, (...) (Okruszko, 2005, s. 42).

Jeśli wyżej wskazanych działań nie przeprowadzi się, tzn. nie uwzględni się funkcjonowania mokradeł w zlewniowym gospodarowaniu wodą, to ogólnikowe i jakościowe argumenty o pozytywnych oddziaływaniach mokradeł na wody i środowisko pozostaną na infantylnym „poziomie gąbki”. Tymczasem zdrowy rozsądek mówi, a praktyka to potwierdza, że jak nie ma wody, to nie ma mokradeł (<https://tvn24.pl/tvnmeteo/swiat/rumunia-podmokly-rezerwat-calkowicie-wysechl-teraz-mozemy-go-tylko-zaorac-st8076600> (dostęp 08.09.2024)).

Podobnie przecenia się mokradła jako siedliska istotne dla zawartości gazów cieplarnianych. Z zaawansowanych badań mokradeł biebrzańskich (Fortuniak, Pawlak, Siedlecki, Górowski, 2025) wynika, że w okresie wegetacji rośliny absorbują nie tylko wodę, ale i węgiel z atmosfery (proces fotosyntezy CO₂), ale gdy wegetacja zamiera, np. w roku suchym, to emitują go wraz z metanem, a dodatkowo rośnie zagrożenie pożarowe; na obie fazy wydatny wpływ ma podaż wody.

Ochrona mokradeł sprowadza się do zapewnienia im przede wszystkim wody. Natomiast odtworzenie przesuszonych torfowisk bywa bardzo trudne¹. Tak więc ochrona mokradeł to także działania hydrotechniczne mające zapewnić pożądaną ilość wody (<https://www.renaturyzacja2.biebrza.org.pl/> (dostęp 06.01.2024)).

Podnosząc temat oddziaływania ekologizmu na gospodarkę wodną nie można nie wspomnieć o ostatnim pomysle eko-aktywistów, tj. inicjatywie ustawodawczej nadania rzece Odrze osobowości prawnej. Jest to efekt długookresowych przygotowań i urabiania opinii publicznej, m.in. wykorzystujących precedensy zagraniczne, przy czym o ile większość owych przykładów ze świata odwołuje się do specyficznych historycznych rekompensat adresowanych do przedkolonialnych społeczności tubylczych, o tyle inicjatywa krajowych organizacji ekologistycznych jest budowana na tzw. katastrofie ekologicznej na Odrze latem w 2022 r., czyli prawdopodobnych skutkach zakwitu „złotej algi” (*Prymnesium parvum*). Przyjęcie takiego rozwiązania – powołanie reprezentującego rzekę komitetu o wyłącznie roszczeniowych kompetencjach – byłoby praktycznym wyłączeniem Odry z zarządzania przez powołane do tego instytucje państwowe. Inicjatywa ustawodawcza nie została poparta wymaganą liczbą podpisów obywatelskich, ale ochoczo podchwycili ją posłowie, co świadczy o dramatycznie niskim poziomie zrozumienia złożoności zintegrowanej gospodarki wodnej wśród liderów klasy politycznej.

¹ „Badania w krajach skandynawskich potwierdziły, że powrót procesów torfotwórczych na przesuszone siedliska jest trudny, a czasami wręcz niemożliwy bez zapewnienia stabilności, głównie warunków wodnych. [...] ... wszystko co żyje jest konsumentem wody – nawet szeroko rozumiane »torfowiska«, o których uczymy się, że są swoistymi »gąbkami nasączonymi wodą« (w domyśle – gromadzącymi ją dla nas na przyszłość). [...] ...w zlewniowej gospodarce wodnej należy traktować mokradła jak konsumentów wody.” Marek Ksepko; głos w dyskusji, w (IPWC, 2009).

*

We wrześniu 2024 roku na Ziemi Kłodzkiej, Opolszczyźnie i Śląsku wystąpiła powódź, która spowodowała śmierć 9 osób i przyniosła wielomiliardowe straty (Kledyński, 2025). Powołano pełnomocnika rządu do m.in. usuwania skutków powodzi, trwają prace nad programem poprawy odporności dotkniętych powodzią regionów na powtarzanie się tego typu zjawisk. Proponowane działania redukcji ryzyka powodziowego (Zaleski i in., 2025a, b, c, d) poddane zostały konsultacjom społecznym. Po raz kolejny, po katastrofalnych powodziach w latach 1997 i 2010 oraz wielu mniej dotkliwych wezbraniach (Banasiak, 2024) wraca dyskusja nad sposobami zabezpieczenia się, wracają kontrowersje związane z potrzebnymi przesiedleniami ludności i oddziaływaniem inwestycji przeciwpowodziowych na środowisko. Kwestie te wymagałyby odrębnego i obszernego opracowania, m.in. na bazie dobrze opisanych już doświadczeń, krajowych i wielu zagranicznych (*Zarządzanie ryzykiem powodzi*, 2025). Niniejsze opracowanie dotyka ich w kontekście retencji, jaka jest konieczna w mitygowaniu wielkości wezbrań rzecznych, jej rodzajów i realnego ich wpływu na przepływy ekstremalne. To także pole dyskusji nad udziałem technicznych i nietechnicznych środków przeciwdziałania powodziom i suszom, a także relacjom gospodarki wodnej z ekologizmem.

*

Refleksje na temat organizacji i zarządzania w gospodarowaniu wodą są obecne w rozdziale Piotra Kowalczaka. Świadomie nie poświęcono im odrębnego artykułu, chociaż od lat zajmują one środowisko gospodarki wodnej i kolejne rządy. Po wyborach w 2023 roku dyskusje na ten temat zdominowała medialna krytyka Państwowego Gospodarstwa Wodnego „Wody Polskie”, które od 2017 roku powinno zajmować się kompleksowo wodami, ich ochroną, kształtowaniem i wykorzystaniem zasobów wodnych. Gdy emocje nieco opadły, a powódź we wrześniu 2024 roku przypominała o zasadniczych i bardzo konkretnych problemach, dyskusje wróciły na poziom merytoryczny. Wyznacza go wieloletnie ścieranie się różnych koncepcji, znajdujące udokumentowanie w wielu publikacjach, raportach i stanowiskach, z których tylko nieliczne i tylko częściowo zostały wykorzystane w aktualnej ustawie Prawo wodne i wydanych na jej podstawie rozporządzeniach. Spośród tych opracowań warto wymienić kompleksowy i stosunkowo najdojrzalszy *Projekt poli-*

tyki wodnej państwa do roku 2030 (Projekt, 2011). Problematyka kolejnej reformy instytucji odpowiedzialnych za gospodarowanie wodami w Polsce jest wciąż żywa, o czym mogą świadczyć np. powołanie w Ministerstwie Infrastruktury zespołu doradczego ds. reformy gospodarki wodnej i wyniki jego trzymiesięcznej działalności (Ministerstwo Infrastruktury, 2025). Świadomie tych kwestii w niniejszym opracowaniu nie podejmujemy, mając na uwadze liczne poświęcone im publikacje, w tym najnowsze, np. (Iwanicki, 2024; Kledyński, 2024; Walczykiewicz, 2025), a także sygnalizowane inicjatywy mające na celu kolejną reformę zarządzania wodami w Polsce.

*

W uzupełnieniu chciałbym jeszcze podjąć temat zmian klimatycznych, jako hasła nader często przywoływanego w rozmaitych kontekstach, także w związku z rozmaitymi zagrożeniami związanymi z wodą. W prezentowanych tekstach hasło to świadomie nie jest nadużywane. Wynika to z przekonania, że zmiany klimatu wpływały i wciąż wpływają na analizowane procesy w złożony sposób i złożone muszą być też środki zaradcze. Modne hasło nie może pełnić roli uniwersalnej praprzyczyny niemal wszystkich problemów i przesłaniać złożoności analizowanych procesów. Nie może też stanowić wygodnej zasłony dla wielu zaniedbań lub błędów w gospodarowaniu wodą.

Zmienność jest wpisana w ewolucję, a wszystko wskazuje na to, że jej przebieg był przerywany kataklizmami o względnej gwałtowności lub masowymi wymierzeniami rozciągniętymi na setki milionów lat. To, co nas niepokoi, to nie tylko kierunek zmian, ale przede wszystkim ich tempo. Z kolei realizm podpowiada, że *dopóki zagrożenia wywołane przez globalne ocieplenie nie są odczuwalne, bezpośrednie i widoczne w codziennym życiu, dopóty bez względu na to, jak poważne mogą się wydawać, ludzie nie podejmą żadnych konkretnych działań. W momencie, gdy staną się one widoczne i dotkliwe, będzie już za późno, co w wielu przypadkach już ma miejsce* (Giddens, 2010). Dotyczy to nie tylko redukcji emisji gazów cieplarnianych, ale i wielu działań adaptacyjnych do zmian już nieuchronnych, ale „pełzających”, sygnalizowanych trendami, w tym zasobów wodnych.

Konfrontowani ze współczesnymi zagrożeniami, spójrzmy w przeszłość i przypomnijmy sobie, czego obawialiśmy się nieco wcześniej, zanim za największe globalne zagrożenie uznaliśmy gazy cieplarniane i zmiany klimatyczne?

Zestawienie światowych obaw sprzed bez mała pół wieku możemy odnaleźć w publikacji (Dobroczyński, Stafanowicz, Wasilkowski, 1981). Treść książki to odpowiednik współczesnych nam paneli dyskusyjnych. Nieprzypadkowi autorzy rozważają kształt i znaczenie światowych wyzwań, zastanawiając się, ...czy w ogóle one istnieją, a jeśli tak, to w jakiej postaci: zagrożenie, zagadek, obietnic... i jakie prowokują postawy. W toku dyskusji jej uczestnicy wskazują na „największe globalne zagrożenie ludzkości”, którym ich zdaniem jest wojna termojądrowa. Zaraz po tym wymieniają zagrożenie środowiska naturalnego, wynikające z „nadużyć człowieka współczesnego w stosunku do Ziemi”.

Ciekawa jest lista owych nadużyć i ich kolejność. Zacytujmy:

- *rabunkowa eksploatacja zasobów naturalnych, przy tylko częściowej możliwości ponownego ich spożytkowania (nawet w przypadku żelaza odzyskuje się zaledwie 50%);*
- *nadmierna eksploatacja gleby, której rekultywacja przestaje być pełna (tzw. oskalpowanie Ziemi);*
- *czerpanie z zasobów i wytworów Ziemi nadmiernym kosztem innych żywych istot;*
- *wyniszczenie pewnych gatunków fauny (np. wielorybów);*
- *ilość odpadów przekraczająca możliwości ich biologicznej dekompozycji lub mechanicznego albo chemicznego zniszczenia. Wśród nich znajdują się materiały silnie trujące (np. zasobniki z gazami bojowymi z okresu II wojny), wybuchowe oraz radioaktywne;*
- *nadmierny rozwój chemii przemysłowej i gospodarczej (domowej), chemizacja rolnictwa (pestycydy) i przetwórstwa rolnego;*
- *stosowanie innych niż nuklearne, lecz wysoce szkodliwych dla środowiska naturalnego broni (np. napalm, inna broń chemiczna używana na dużą skalę przez Amerykanów w Wietnamie);*
- *zanieczyszczanie powietrza;*
- *zagrożenie równowagi klimatycznej przez wybuchy jądrowe, masowe stosowanie aerozoli, zagęszczenie obecności dwutlenku węgla w atmosferze itp.*

Do tego wyliczenia dodano wysoce niepokojące zjawiska zachodzące w morzach i oceanach (np. jako efekt wierceń podwodnych lub rozlewisk

ropy powstałych w wyniku awarii na morzu). Zdaniem dyskutantów „międzynarodowy porządek ekologiczny” powinien uwzględniać: utrzymywanie odpowiedniej jakości powietrza i wody, przegląd szkód dokonywanych przez człowieka w przyrodzie, inwentarz i badanie eksploatacji zasobów nieprzysracalnych, kierowanie światową produkcją żywności.

Zapewne dzisiejsza lista zagrożeń nie byłaby krótsza. Być może coś z listy ułożonej prawie 50 lat temu straciło na znaczeniu lub straciliśmy je z pola widzenia, ale podstawowy zestaw wciąż jest aktualny. Z dzisiejszego punktu widzenia lista ma jednak innego lidera. Zostały nim zmiany klimatyczne. Tak więc zmiany klimatyczne nie były i nie są kwestionowane, tyle że wcześniej łączono je przede wszystkim z czynnikami naturalnymi, np. „rytmami ziemskich żywiołów” (Bałandin, 1981).

W przywołanej publikacji (Bałandin, 1981) autor, po przedstawieniu bardzo różnorodnych hipotez na temat związków klimatu z innymi naturalnymi procesami na Ziemi i w kosmosie, stawia także tezę o antropogenicznych czynnikach wpływających na klimat: *W jaki sposób człowiek mógł wpływać na klimat? Niektórzy klimatolodzy przedstawiają taką hipotezę. Nadmierny wypas bydła i nieracjonalnie zorganizowane rolnictwo prowadzą do degradacji gleb, osłabienia i wyniszczenia wieloletniej roślinności na znacznych przestrzeniach. Takie ziemie zatrzymują mało wilgoci, szybko wietrzeją, silnie nagrzewają się od Słońca, łatwo ulegają zniszczeniu przez deszcze i wiatry. Zwiększa się spływ powierzchniowy. W następstwie tego mniej wody dostaje się do gleby, obniża się poziom wód gruntowych, a to z kolei odbija się ujemnie na roślinności. Wyjałowienie użytków rolnych zmusza ludność do zagospodarowania nowych terenów, które także czeka smutny los. Rośnie obszar Ziemi pozbawiony niemal doszczętnie pokrywy roślinnej, o wyniszczonej glebie słabo utrzymującej wilgoć. W takich rejonach opady atmosferyczne i wody powierzchniowe na razie występują w dostatecznej ilości. Zwiększony spływ powierzchniowy musi natomiast powodować katastrofalne powodzie. Miejscowa ludność zaczyna przechodzić na rolnictwo nawadniane i budować systemy irygacyjne.*

Ludzie skupiają się więc przy rzekach, co pozwala regulować dopływ wody na pola. Można uznać, że początkowo były to procesy adaptacyjne, które z czasem wyczerpały swoje możliwości. A zatem starożytne cywilizacje znalazły się w strefie pustyń nie z wyboru tego rodzaju miejsca, ale

one same, wraz z naturalnymi wówczas procesami klimatycznymi, tworzyły takie strefy.

Z dzisiejszej perspektywy nazwalibyśmy zarysowane wyżej procesy zmianami w sposobie użytkowania terenu, których wpływ na zmiany odpływu ze zlewni jest dziś szczegółowo badany i traktowany jako drugi pod względem sprawczości, zaraz po zmianach klimatycznych (Banasik i Okruszko, 2009). Wiele wskazuje na to, że czynniki te – gdy spotykają się w obszarze zasobów wodnych – mogą się wzajemnie wzmacniać.

Próby przeciwdziałania przyczynom nie zwalniają z konieczności podejmowania skutecznych działań adaptacyjnych. Oby połączyła je doskonała harmonia.

*

Niniejszy tekst nie jest prostym omówieniem zawartości książki. To próba wyjaśnienia autorskiego wyboru tematów z obszernej i wielowątkowej problematyki wodnej oraz przedstawienie własnych poglądów w wybranych kwestiach. Za taką możliwość pragnę podziękować Radzie Instytutu Problemów Współczesnej Cywilizacji oraz jego dyrektorowi, Panu Profesorowi Józefowi Lubaczowi.

Dziękuję wszystkim Autorom za przyjęcie zaproszenia i trud przygotowania interesujących i obszernych rozdziałów. Mam nadzieję, że całość tej publikacji spotka się z zainteresowaniem P.T. Czytelników i wniesie coś nowego w ich postrzeganie wody, dobra powszedniego (oby zawsze!) i wciąż najszlachetniejszego z żywiołów.

Literatura

- Baładin, R. (1981). *Rytm ziemskich żywiołów*. Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Banasik, R. (2024). *Wstępna ocena przejścia powodzi na Odrze we wrześniu 2024 r.* Środowiskowe Seminarium Naukowe IMGW-PIB/UPWr – 30 października 2024.
- Banasik, K., Okruszko, T. (2009). *Problematyka wodna w świetle zmian klimatu*, [w:] Woda w obszarach nieurbanizowanych. IPWC, Warszawa.
- Biuletyn... (2011). *Gospodarka wodna. Rola samorządu terytorialnego i użytkowników gruntów w przeciwdziałaniu podtopieniom i niedoborom wody*. Biuletyn Forum Debaty Publicznej, nr 8, Kancelaria Prezesa Rady Ministrów.

- Debata oksfordzka (2023). *Jedynie nadanie osobowości prawnej Wiśle pozwoli nam uniknąć katastrofy na miarę Odry*. Konferencja STORMWATER, Katowice, 27–28 września 2023, <https://www.youtube.com/watch?v=cWcb8DAU2TA> (dostęp 15.08.2025).
- Dobroczyński, M., Stafanowicz, J., Wasilkowski, A. (1981). *Wyzwania współczesnego świata*. Wiedza Powszechna, Warszawa.
- Fortuniak, K., Pawlak, W., Siedlecki, M., Górski, J. (2025). *Problemy wyznaczania bilansu gazów cieplarnianych terenów bagiennych w warunkach zmiany klimatu – wyniki 10-letnich pomiarów w Biebrzańskim Parku Narodowym*. Środowiskowe Seminarium Naukowe IMGW-PIB/UPWr – 15 stycznia 2025.
- Frankfurt, H.G. (2022). *O wciskaniu kitu*. Czuły Barbarzyńca Press, Warszawa.
- Giddens, A. (2010). *Klimatyczna katastrofa*. Prószyński i S-ka S.A., Warszawa.
- Gospodarka wodna w Polsce, red. A. Magnuszewski. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, Zeszyt 46, Warszawa 2024.
- <https://tvn24.pl/tvnmeteo/swiat/rumunia-podmokly-rezerwat-calkowicie-wysechl-teraz-mozemy-go-tylko-zaorac-st8076600> (dostęp 08.09.2024).
- <https://www.renaturyzacja2.biebrza.org.pl/> (dostęp 06.01.2024).
- IPWC (2005). *Zagadnienia bezpieczeństwa wodnego*. Warszawa.
- IPWC (2009). *Woda w obszarach nieurbanizowanych*. Warszawa.
- IPWC (2021). *Zmiany klimatu i ich następstwa*. Warszawa.
- Iwanicki, J. (2024). *Podstawy zintegrowanego zarządzania zasobami wody*. Wydawnictwo Agade.
- Kledyński, Z. (2024). *Kilka uwag o gospodarce wodnej w Polsce u progu A.D. 2024*. Gospodarka Wodna, nr 2, 10–13.
- Kledyński, Z. (2025). *Powódź w 2024 r. na Ziemi Kłodzkiej i w dolnej części zlewni Nysy Kłodzkiej przypominała o sile żywiołu wodnego*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, Nr 4 (121).
- Marczewska-Rytko, M., Maj, D., red., (2016). *Ekologizm*. Wydawnictwo UMCS, Lublin.
- Mikulski, Z. (1998). *Gospodarka wodna*. PWN, Warszawa.
- Ministerstwo Infrastruktury (2025). *Raport Zespołu doradczego do spraw przygotowania propozycji zmian prawnych w obszarze zarządzania gospodarką wodną w Rzeczypospolitej Polskiej* – 18 czerwca 2025 r., Warszawa (niepublikowany).
- Mioduszecki, W. (2009). *Woda w rolnictwie*, [w:] *Woda w obszarach nieurbanizowanych*. IPWC, Warszawa, 13–39.
- Okruszko, T. (2005). *Kryteria hydrologiczne w ochronie mokradeł*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Projekt (2011). *Projekt polityki wodnej państwa do roku 2030 (z uwzględnieniem etapu 2016)*. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Rolbiecki, R. (2025). *Perspektywy nawodnień roślin w Polsce*. Środowiskowe Seminarium Naukowe IMGW-PIB/UPWr – 23 kwietnia 2025.

- Rozporządzenie (2025a). *Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 7 marca 2025 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie norm oraz szczegółowych warunków ich stosowania* (Dz.U. 2025 poz. 293).
- Rozporządzenie (2025b). *Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 10 marca 2025 r. w sprawie torfowisk i obszarów podmokłych objętych normą GAEC 2* (Dz.U. 2025 poz. 307).
- Ustawa z dnia 30 maja 1962 r. Prawo wodne (Dz.U. 1962 nr 34 poz. 158).
- Walczykiewicz, T. (2025). *Założenia a wdrażanie zlewniowego zarządzania gospodarką wodną w Polsce z perspektywy 35 lat*. Gospodarka Wodna, nr 7, 29–32.
- Wierzbicki, J. (2003). *Przyrodnicze, gospodarcze i hydrotechniczne przesłanki regulacji rzek. Zasady regulacji rzek Niżu Polskiego wg Szkoły Warszawskiej*. Oficyna Wydawnicza „Sadyba”, Warszawa.
- Wizualizacja GAEC 2, 2025: <https://gaec2.iung.pl/>
- Woda w rolnictwie – zagrożenia i szanse* (2024). Dokument programowy IV Wodnego Okrągłego Stołu, Wrocław, 24 kwietnia 2024.
- Wyligala, H. (2016). *Ekologizm w polityce zagranicznej*, [w:] Ekologizm. Wydawnictwo UMCS, Lublin, 223–225.
- Zarządzanie ryzykiem powodzi* (2025). Dokument programowy V Wodnego Okrągłego Stołu, Wrocław, 26 marca 2025.
- Zaleski, J., Balcerowicz, M., Stodolak, R., Niedbała, J., Nowak, B. (2025a). *Program redukcji ryzyka powodziowego w zlewni Nysy Kłodzkiej*. Gospodarka Wodna, nr 6, s. 29.
- Zaleski, J., Balcerowicz, M., Nowak, B., Niedbała, J. (2025b). *Działania nietechniczne w Programie redukcji ryzyka powodziowego w zlewni Nysy Kłodzkiej*. Gospodarka Wodna, nr 6, 10–16.
- Zaleski, J., Balcerowicz, M., Niedbała, J., Stanisławski J. (2025c). *Możliwości redukcji ryzyka powodziowego w zlewni Białej Łądeckiej*. Gospodarka Wodna, nr 6, 17–23.
- Zaleski, J., Balcerowicz, M., Stodolak, R., Niedbała, J. (2025d). *Redukcja ryzyka powodziowego w zlewni Nysy Kłodzkiej poniżej profilu Bardo w świetle zapisów Programu redukcji ryzyka powodziowego w zlewni Nysy Kłodzkiej*. Gospodarka Wodna, nr 6, 24–29.

WIELKOŚĆ I ZMIENNOŚĆ CZASOPRZESTRZENNA ZASOBÓW WODNYCH POLSKI – GŁÓWNE PROBLEMY W GOSPODAROWANIU WODĄ

PIOTR KOWALCZAK

Wprowadzenie

Zmienność pogody, wydłużające się sezony wegetacyjne, zimowe deficyty śniegu, a także występujące susze i powodzie powodują coraz większe obawy o zagrożenia związane z dalszym przebiegiem ekstremalnych zjawisk hydrologiczno-meteorologicznych, w tym możliwość wystąpienia deficytów a nawet braku wody.

Opinia autora

Autor należy do przeciwników tez głoszonych przez IPCC i reprezentuje grupę naukowców twierdzących, że wszystko już było. Jest zdania, że zmienność to naturalna cecha klimatu. Odnosząc się z kolei do problemu braku wody czy innych ekstremalnych zjawisk hydrologiczno-meteorologicznych, stwierdza – na podstawie dostępnych wyników badań – że dotychczas nie potwierdzono jednoznacznie związku pomiędzy wielkością emisji CO₂ a obecnie przebiegającymi zmianami zjawisk pogodowych (Kowalczak, 2024). Zdaniem Autora wzrasta natomiast wpływ działalności antropogenicznej, głównie poprzez zmiany zagospodarowania zlewni (Kowalczak, 2015), czego najlepszym dowodem są współczesne miasta. Pamiętać należy, że występowanie susz i wezbrań jest cechą charakterystyczną klimatu Polski.

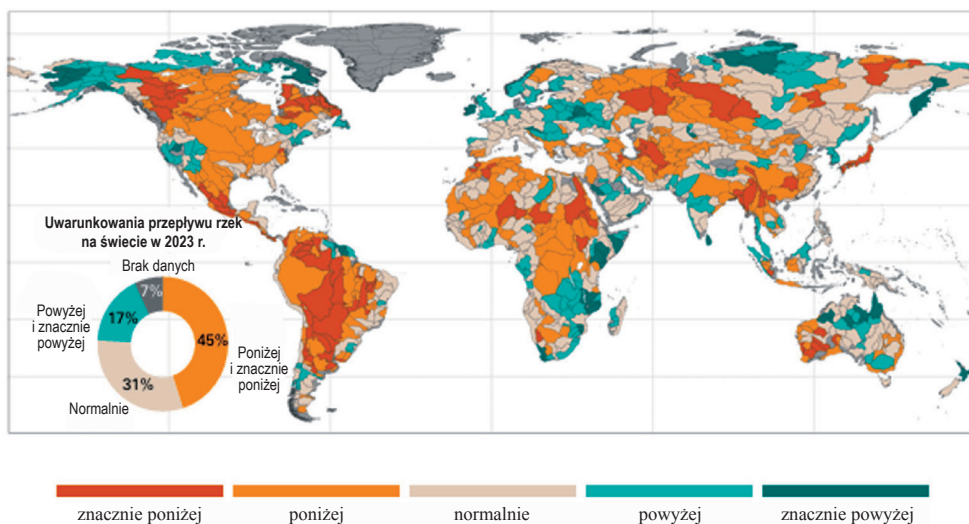
Pokutujące przeświadczenia

Na początku niniejszych rozważań sklasyfikujmy niektóre przeświadczenia związane z zasobami wodnymi Polski, a rozpowszechniane medialnie jako działające na wyobraźnię. Polska posiada w stosunku do innych krajów europejskich rzeczywiście relatywnie mniejsze zasoby wodne i rzeczywiście występują zagrożenia związane z naturalnym przebiegiem zjawisk hydrologiczno-meteorologicznych, potęgowane wadliwą gospodarką przestrzenną w zlewniach. Często zamiast diagnozy powstają mity, które z wielką łatwością powielane są przez media. Na przykład popularne porównanie sytuacji Polski i Egiptu jest wielkim, niczym nieuzasadnionym nadużyciem. Bywa, że niektórzy autorzy, dramatyzując bez przyczyny, porównują wielkość zasobów wodnych Polski i problemy z gospodarowaniem z zasobami wodnymi Egiptu, co jest oczywistym nonsensem, m.in. dlatego, że:

- w przypadku Egiptu występuje całkowite uzależnienie (97%) od zasobów wodnych krajów leżących w górnym biegu rzeki, bo tylko 3% zasobów wodnych tego kraju powstaje na jego terytorium; dla odmiany w Polsce zdecydowana większość naszych zasobów wodnych powstaje w kraju,
- gwałtowny wzrost liczby ludności Egiptu zapowiada stałe pogarszanie się sytuacji w dziedzinie zaopatrzenia ludności w wodę, a przede wszystkim największego użytkownika wody – rolnictwa; w Polsce – wskutek spadającej liczby mieszkańców – nastąpi wzrost ilości wody przypadającej na jednego mieszkańca, jakkolwiek to tylko statystyka,
- brak skutecznych regulacji międzynarodowych w dziedzinie gospodarowania wodą Nilu stwarza wielkie zagrożenie konfliktami (Kowalczak, 2006); dla odmiany w dziedzinie współpracy na rzekach granicznych Polska ma od lat uregulowania dotyczące całokształtu zagadnień związanych z gospodarowaniem ich zasobami. Przykładem jest doskonała współpraca na Odrze w ramach Międzynarodowej Komisji Ochrony Odry przed Zanieczyszczeniem (Niemcy, Czechy, Polska),
- zdecydowanie odmienne warunki meteorologiczne i hydrologiczne.

Z powyższym wiąże się powtarzająca się informacja o stepowieniu, czy wręcz pustyynnieniu Polski. Teza o stepowieniu (pustyynnieniu) Polski ma swoich wyznawców, choć tylko w okresie ostatnich kilkunastu lat wydano kilkadziesiąt milionów złotych na utrzymanie i odtworzenie Pustyni Błędow-

skiej, która w dużej części zarosła drzewami w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat. Doniesienia o stepowaniu skupiają się na Wielkopolsce. Bardzo często powtarzany termin „stepowienie Wielkopolski”, szczególnie popularny w okresach suszy, a obecnie powtarzany w kontekście ocieplenia globalnego, nie jest poparty żadnymi dowodami. Prace badawcze na ten temat wskazują inne przyczyny opadania zwierciadła wód jezior, obniżenia natężenia przepływów w ciekach, zanikania obszarów wodno-błotnych. To także skutek działalności człowieka, ale wynikający głównie z działalności kopalni węgla brunatnego, a w innych lokalizacjach koncentracji potrzeb wodnych, i spowodowany nadmiernym, zwykle niekontrolowanym, poborem wód podziemnych. Można stwierdzić, że w Polsce mamy 33 rezerваты stepowe, ale żaden z nich nie znajduje się w Wielkopolsce (Ilnicki i in., 2012). Nie zachodzi proces zwany „stepowaniem Wielkopolski” (Kowalczak, 2008; Ilnicki i in., 2012). Nawet, przepowiadane przez IPCC, postępujące ocieplenie klimatu nie spowoduje zmian, których rezultatem będzie występowanie klimatu stepowego na ziemiach polskich, przynajmniej do końca XXI wieku (Rubel i Kottek, 2010). To prawda, że występują lata problemów z wodą, np. pierwsze półrocze obecnego 2025 roku z suszą w rolnic-



Rysunek 1. Średni przepływ rzek świata w 2023 roku w porównaniu z okresem 1991–2020 (dla zlewni o powierzchni większej niż 10 000 km²)

Źródło: Raport o stanie globalnych zasobów wodnych 2023, Nr WMO 1362

twie, stwarzającą szczególne zagrożenie dla roślin okopowych, konieczność zamykania szlaków żeglugowych na Mazurach czy problem z napełnieniem wodą jeziora Malta w Poznaniu. W tym przypadku przyczyny są znane, a zadaniem jest minimalizowanie skutków występujących deficytów.

Tymczasem sytuacja wodna bywa demonizowana. Już rok 2023 został uznany za kolejny najgorszy, zbliżający Polskę do katastrofy wodnej, a według tych samych źródeł już taką katastrofę mamy. Tymczasem nie tylko Polska ma problemy z wodą; wystarczy spojrzeć na mapę ilustrującą wielkość przepływów rzek świata w 2023 roku (rys. 1).

Warunkiem racjonalnego podejścia do rzeczywistych problemów może być oderwanie się od skrajnie przeciwstawnych koncepcji tzw. zielonych i tzw. betoniarzy. Proponuję też zastąpienie słowa „oszczędność” słowem „efektywność” i uporządkowanie kwestii zmienności klimatu w zarządzaniu zasobami wodnymi.

Podstawy działania

W 2000 roku przyjęto Ramową Dyrektywę Wodną (RDW), w której po raz pierwszy wszechstronnie ujęto wszystkie problemy związane z wodami w UE, wskazując, że gospodarka wodna to coś więcej niż dystrybucja i uzdatnianie wody. Wiąże się ona bowiem z użytkowaniem zlewni i ich zagospodarowaniem, gdyż te dziedziny mają wpływ zarówno na jakość, jak i na ilość wody; ponadto wymaga ona koordynacji z planowaniem przestrzennym prowadzonym przez państwa członkowskie oraz włączenia do dziedzin priorytetowych objętych finansowaniem. Polska jako kraj członkowski UE przyjęła i wdrożyła z wielkimi trudnościami zasady gospodarowania wodą zawarte w RDW, jak i innych dokumentach, w tym dyrektywie powodziowej. Pozwoliło to na usystematyzowanie naszego gospodarowania wodą i przeniesienie wielu interesujących oraz korzystnych rozwiązań z innych krajów europejskich (Kowalczak i Matczak, 2013; Kowalczak i Choryński, 2013). Nadal jednak istnieje konieczność wprowadzania kolejnych rozwiązań, np. powiązanie ochrony przeciwpowodziowej z planowaniem przestrzennym. Koniecznością jest doskonalenie systemu zarządzania zasobami wodnymi po połączeniu Regionalnych Zarządów Gospodarki Wodnej (RZGW) z Wojewódzkimi Zarządami Melioracji i Urzędzeń Wodnych (WZMUW). Tu powstaje problem podstawowy – współpraca z samorządami.

W rozważaniach należy podkreślić problem zanieczyszczenia wód, bo przecież ostatnie zanieczyszczenie wód Odry wskazuje, w jak szybkim tempie możemy zostać pozbawieni znaczących ilości dyspozycyjnych zasobów wodnych oraz jak nagle można zniszczyć środowisko wodne i od wody zależne. Równie ważne są zagadnienia obszarów wodno-błotnych, a także problem jezior, które ulegają gwałtownej dewastacji wskutek zanieczyszczenia, co zwykle nie jest dostrzegane wobec stosunkowo szybkiego procesu ich naturalnego starzenia.

Wielkość i zmienność zasobów wodnych Polski

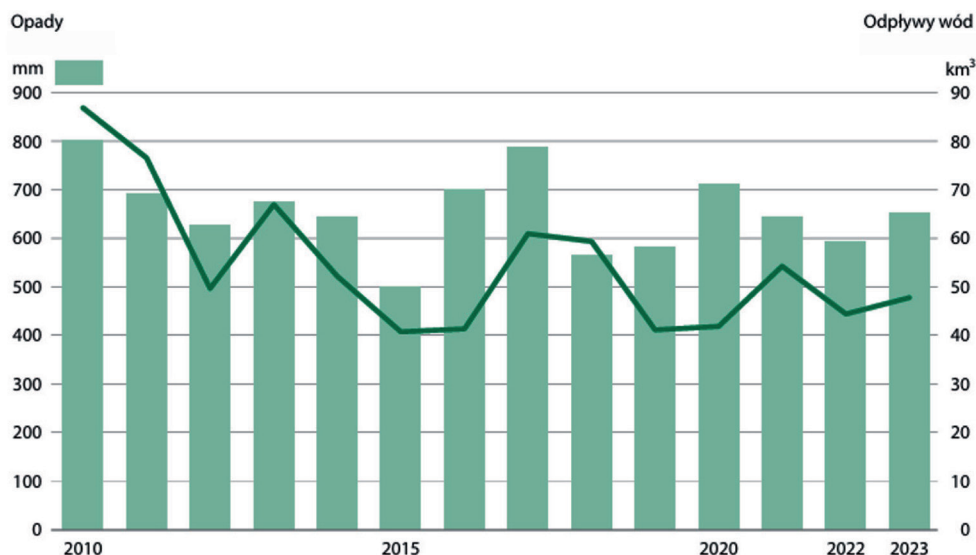
Pojęcie zasobów wodnych i bilans wodny kraju

Pojęcie zasobów wodnych nie odnosi się do ogółu wód, lecz tylko do tej ich części, która jest corocznie odnawiana, co jest utożsamiane z odpływem rzecznym w ciągu roku z określonego terenu. W bilansie wodnym kraju przychód stanowi około 192 mld m³ wody (97% pochodzi z opadów atmosferycznych, 3% dostarczają rzeki, których źródła znajdują się poza granicami naszego kraju). Rozchód w bilansie wodnym wynosi także około 192 mld m³ wody. Składają się na niego: odpływ powierzchniowy oraz odpływ podziemny, które wynoszą razem około 57 mld m³, straty przez parowanie, transpirację i zużycie gospodarcze wynoszą około 135 mld m³, a więc razem 192 mld m³.

Zasoby wodne Polski

Polska należy do grupy najuboższych w wodę krajów Europy. Wynika to z małych opadów atmosferycznych i stosunkowo dużego parowania. Zasoby wód płynących w Polsce, mierzone wielkością średniego odpływu rocznego (średnia wartość z lat 1951–2005), wynoszą około 62 km³. W ostatnim dziesięcioleciu roczne odpływy są jednak znacząco niższe: 40,8 km³ w 2015 roku, 41,2 km³ w 2019 roku, 41,9 km³ w 2020 roku, 54,3 km³ w 2021 roku, 44,4 km³ w 2022 roku oraz 47,8 km³ w 2023 roku (GUS, Rocznik Statystyczny 2021; GUS, Rocznik Statystyczny 2024). Średnie z wielolecia zasoby całkowite wód powierzchniowych wynoszą 61,6 km³ (z uwzględnieniem dopływu spoza granic). W roku średnim zasoby wodne

powstające na obszarze Polski stanowią 87,5%, natomiast 12,5% to wody pochodzące spoza granic kraju. Główna część tych zasobów (95,5%) odpływa bezpośrednio do Bałtyku, a pozostała do krajów sąsiednich 2,8 km³ (4,5%). Wykresy na rysunku 2 wskazują na wyraźną zależność wielkości odpływu od wysokości opadów atmosferycznych, ilustrując jednocześnie znaczną zmienność obu wielkości w czasie.

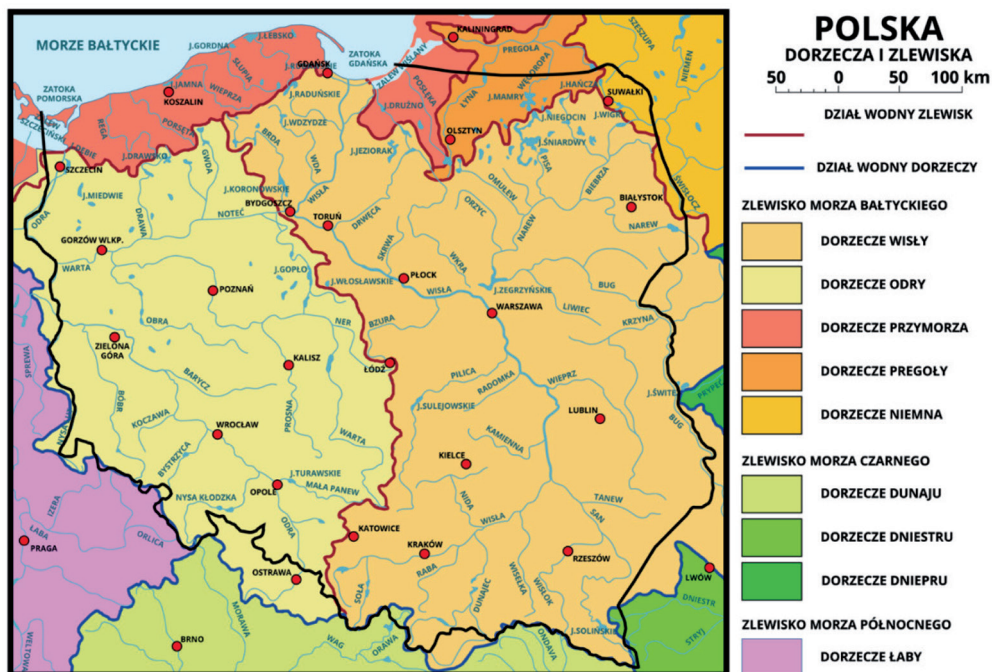


Rysunek 2. Wysokość opadów atmosferycznych i wielkość odpływu z obszaru Polski w okresie 2010–2023

Źródło: GUS, Ochrona Środowiska, Warszawa 2024 na podstawie danych IMGW-PIB

Obszarową zmienność odpływu ilustruje procentowy udział odpływu z poszczególnych dorzeczy i zlewni (rys. 3). Największa objętość odpływu przypada na dorzecze Wisły (55% rocznego odpływu), znacznie mniejszy odpływ mają dorzecze Odry (25%), rzeki Przymorza (9,5%) i pozostałe zlewnie.

Wielkość i rozkład obszarowy zasobów wodnych najlepiej obrazuje średni odpływ jednostkowy, tj. ilość wody odpływająca z powierzchni kilometra kwadratowego w ciągu sekundy. Średni roczny odpływ jednostkowy w drugiej połowie XX wieku (w latach 1951–2000) wynosił dla obszaru naszego kraju 5,65 dm³/s/km². Najmniejsze wartości występowały w pasie nizin, w Wielkopolsce, na Kujawach oraz na Dolnym Śląsku, miejscami nie prze-

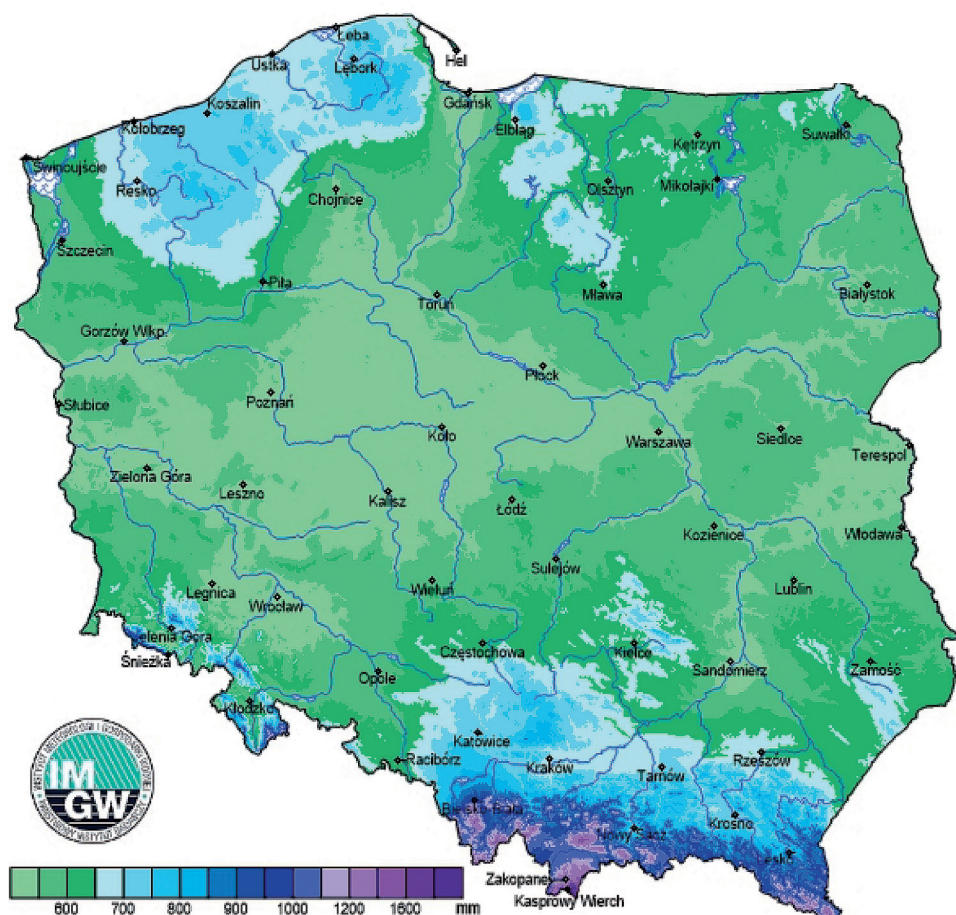


Rysunek 3. Dorzecza i zlewnie rzek polskich

Źródło: Opracowano na podstawie: <https://epodreczniki.pl/a/wody-powierzchniowe-i-podziemne-w-polsce/DpQnRQM50>, Wydawnictwo Edukacyjne Wiking

kracząc $3 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Za szczególnie deficytowe zlewnie można uznać zlewnie Wełny i górnej Noteci. Największe wartości średni roczny odpływ jednostkowy osiągnął na obszarach górskich (ponad $20 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{km}^2$) oraz w pasie rzek Przymorza (ponad $10 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{km}^2$). W gospodarowaniu wodą problemem jest znaczna czasowa i obszarowa zmienność odpływu. Wielkość odpływu w Polsce kształtowana jest głównie wysokością i rozkładem obszarowym oraz czasowym wysokości opadów atmosferycznych, który przedstawiono na rysunku 4.

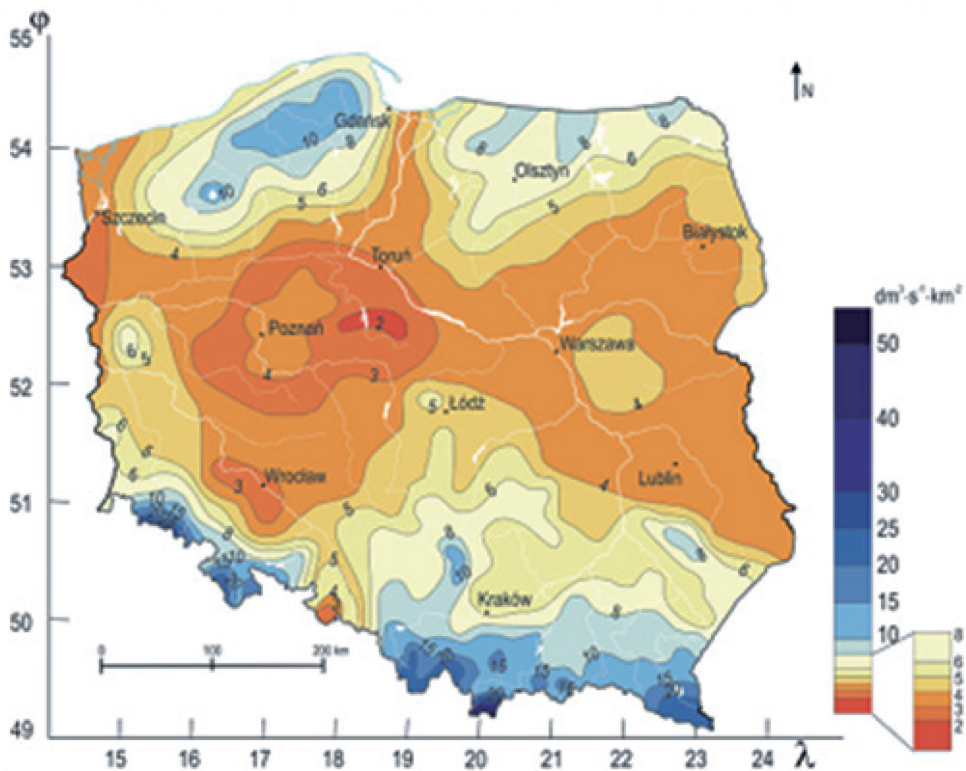
W efekcie wielkość zasobów wodnych Polski charakteryzuje się dużą zmiennością obszarową i w czasie, wynikającą ze zmienności czasowego i powierzchniowego rozkładu wielkości opadów atmosferycznych, a ponadto jest kształtowana przez charakterystyki zlewni o zmieniającym się zagospodarowaniu. Stąd okresowo występujące problemy z wodą w rzekach (wezbrania, niżówki, a w efekcie powodzie i susze). Można powiedzieć, że natura tworzy wezbrania, a człowiek tworzy powodzie.



Rysunek 4. Rozkład obszarowy wysokości opadu atmosferycznego w Polsce w okresie 1991–2020

Źródło: <https://klimat.imgw.pl/pl/climate-maps/#Precipitation/Yearly/1991-2020/>.

W odniesieniu do rozkładu obszarowego wielkości odpływu jednostkowego w Polsce dokładny i czytelny podział przedstawiono na rysunku 5. Charakterystykę odpływu z lat 2000–2023 dla Polski przedstawiono w tabeli 1. W odniesieniu do wybranych rzek sezonowe zmiany odpływu prezentuje wykres na rysunku 6. Charakterystykę wybranych dorzeczy i zlewni wraz z wielkością średniego rocznego przepływu przedstawiono w tabeli 2.

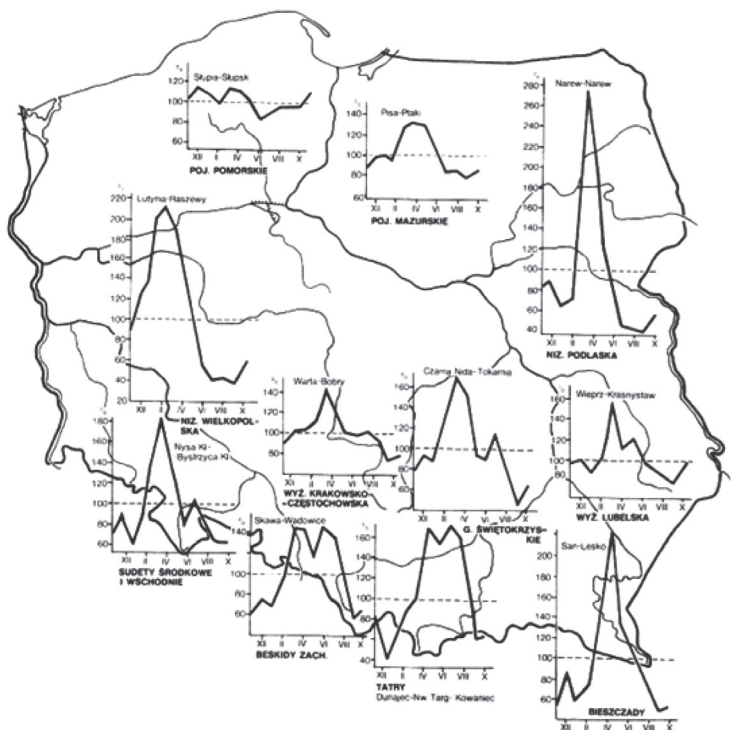


Rysunek 5. Powierzchniowy rozkład odpływu jednostkowego w Polsce z wielolecia
Źródło: IMGW-PIB

Tabela 1. Charakterystyka odpływu z obszaru Polski dla wybranych lat z okresu 2000–2023

Wyszczególnienie	Opady		Odpływy wód					
			ogółem			w tym z obszaru kraju		
	w mm	w km³	w km³	z 1 km²	na 1 miesz- kańca	w km³	z 1 km²	na 1 miesz- kańca
					w dam³			w dam³
2010	802,9	251,1	86,9	278	2,3	73,6	235	1,9
2015	501,2	156,7	40,8	131	1,1	36,0	115	0,9
2020	712,5	249,9	41,9	134	1,1	35,1	112	0,9
2022	593,5	208,2	44,4	142	1,2	39,5	126	1,0
2023	652,5	228,6	47,8	153	1,3	41,0	131	1,1

Źródło: GUS, Ochrona Środowiska, Warszawa 2024 na podstawie danych IMGW-PIB



Rysunek 6. Sezonowa zmienność odpływu wybranych rzek Polski
Źródło: Starkel L. (red.), *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*, PWN 1999

Tabela 2. Charakterystyka wybranych dorzeczy i zlewni w Polsce oraz natężenia przepływów ich rzek

Rzeka	Rzeka lub zbiornik wodny, do którego uchodzi dopływ	Powierzchnia dorzecza w Polsce w km ²	Ogólna długość rzeki w km	Długość rzeki w Polsce w km	Średni przepływ w m ³ /s
Wisła	Morze Bałtyckie	168 699	1 047	1 047	1 080,0
Odra	Morze Bałtyckie	106 056	854	742	567,0
Warta	Odra	54 529	808	808	216,0
Bug	Narew	19 284	772	587	155,0
Narew	Wisła	53 873	484	448	313,0
San	Wisła	14 390	443	443	129,0
Noteć	Warta	17 330	388	388	76,6
Pilica	Wisła	9 273	319	319	47,4
Węprz	Wisła	10 415	303	303	36,4
Bóbr	Odra	5 830	272	270	44,8
Łyna	Pregola	5 719	264	190	34,7
Nysa Łużycka	Odra	2 197	252	198	31,0

Źródło: GUS, Ochrona Środowiska, Warszawa 2024

Zasoby wodne innych krajów europejskich

Tezę o stosunkowo małych zasobach wodnych Polski można udokumentować korzystając z zapisów UE (Eurostat, <https://ec.europa.eu/eurostat>, 2022). Największe zasoby wód w krajach Unii Europejskiej (w wartościach bezwzględnych) posiadają Francja (206 mld m³), Szwecja (196 mld m³) i Niemcy (188 mld m³).

W przeliczeniu na jednego mieszkańca średnia ilość wody dostępnej w Europie wynosi 4560 m³/rok, przy dużym zróżnicowaniu: od 120 m³ na Malcie do 70 000 m³ w Norwegii. W latach 1990–2017 ilość wody dostępnej na mieszkańca zmniejszyła się w Europie Południowej, Zachodniej i Północnej. Wzrost zaobserwowano w Europie Wschodniej. Zmiany te były skutkiem zmian liczby ludności, a nie zmian klimatu. Deficyt wody dotyka każdego roku około 20% terytorium Europy i średnio 30% populacji europejskiej. Prognozuje się, że w Europie Południowej problemy związane z deficytem wody będą występować z coraz większym natężeniem. W pozostałej części Europy deficyt wody będzie występował nieregularnie, ale z coraz większą częstością i coraz groźniejszymi skutkami.

Zasoby wodne Polski a innych krajów europejskich

Powszechnie panuje słuszna opinia o małych zasobach wodnych Polski. Rzeczywiście odpływ jednostkowy, będący zdaniem autora najbardziej uniwersalną miarą wielkości zasobów wodnych, jest większy w zlewniach rzek graniczących z Polską, a także w zdecydowanej większości zlewni wielkich rzek europejskich. Istnieje ważny mankament obecnego sposobu szacowania zasobów wodnych państw, polegający na tym, że obowiązująca ocena zasobów wodnych jest oparta na szacowaniu odpływu w ciekach wypływających z danego kraju. Stąd na przykład stosunkowo duże zasoby wodne Węgier, gdyż na odpływ w tym przekroju składają się zasoby wodne całego dorzecza Dunaju powyżej tego przekroju, przy zdecydowanie małym wkładzie zasobów własnych. Takich przykładów w Europie jest wiele. Dla porównania: udział zasobów wodnych pochodzących spoza obszaru państwa wynosi dla Węgier 95%, Holandii – 89%, Bułgarii – 91%, Niemiec – 51%. Jeszcze większe dysproporcje można znaleźć na innych kontynentach. Na przykład w Afryce szczególnie groźna sytuacja występuje w Egipcie, gdzie aż 97% wód pochodzi spoza

granic kraju. Podobnie jest w kilku innych krajach afrykańskich: Mauritanii – 95%, Botswanie – 94%, Gambii – 86%, a także w krajach Azji i Ameryki Południowej (Kowalczak, 2007).

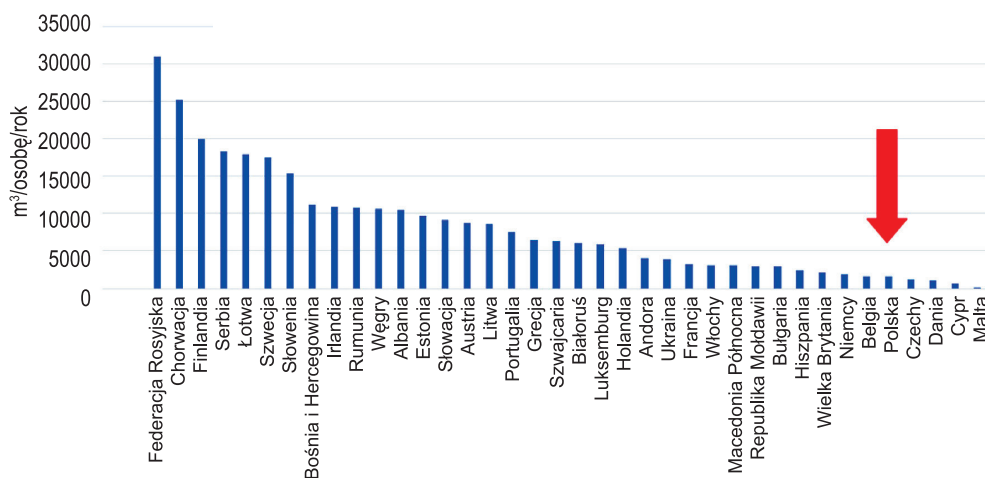
Opisana sytuacja ulegnie wkrótce pogorszeniu wskutek wzrostu zapotrzebowania na wodę i prób zagospodarowania wody przez pozostałe kraje górnej części dorzeczy, głównie przez budowę zapór i zwiększone pobory wody na potrzeby rolnictwa, a to z kolei wynika z dynamicznego wzrostu liczby ludności i rosnących jej potrzeb.

W związku z powyższym należy oczekiwać w przyszłości działań dążących do uzależnienia wielkości poboru wody od wielkości dostępnych na danym obszarze zasobów wodnych. Wtedy w szczególnie złej sytuacji znajdą się kraje, których zasoby wodne w większości pochodzą spoza ich granic. Woda stanie się zasobem w pełni tego słowa strategicznym. Jeśli tak, to sytuacja Polski rysuje się już bardziej optymistycznie, gdyż dopływ spoza granic kraju stanowi zaledwie 12,6% całkowitych zasobów wód płynących; terytorium kraju leży praktycznie w granicach hydrograficznych.

Najczęściej przyjmowaną miarą zasobności krajów w wodę jest przeliczenie posiadanych zasobów wodnych na jednego mieszkańca. Obecnie jednostkowe zasoby wodne na mieszkańca w Polsce wynoszą około 1600 m³/osobę/rok (<https://www.gov.pl/web/susza/najnowszy-raport-gus-polska-na-24-miejsce-w-unii-europejskiej-pod-wzgledem-odnawialnych-zasobow-wody-slodkiej>), czyli są blisko trzykrotnie mniejsze niż średnia dla Europy.

Według danych Organizacji Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO), gorzej pod tym względem w Europie jest tylko w Czechach (1238 m³/osobę/rok) i Danii (1046 m³/osobę/rok) oraz w dwóch niewielkich krajach wyspiarskich, położonych w suchym klimacie śródziemnomorskim – na Cyprze (661 m³/osobę/rok) i Malcie (117 m³/osobę/rok). Z kolei do głównych europejskich potentatów wodnych zaliczyć można Norwegię (74 081 m³/osobę/rok), Rosję (31 426 m³/osobę/rok) i Chorwację (25 185 m³/osobę/rok) (rys. 7).

Można zatem stwierdzić, że dysponujemy mniejszymi zasobami wodnymi w stosunku do innych krajów europejskich, ale mając na uwadze powyżej przedstawione zastrzeżenia dotyczące sposobu szacowania zasobów, należy bardziej optymistycznie oceniać sytuację, chociaż zapewne nigdy nie osiągniemy sytuacji komfortowej. Przekonuje o tym granica tzw. stresu wodnego (1700 m³/osobę/rok), w pobliżu której występują zasadnicze problemy



Rysunek 7. Całkowite odnawialne zasoby wodne na mieszkańca

Źródło: Eurostat

w gospodarowaniu wodą lub napięcia związane z jej niedoborem. Polska ze swoimi zasobami jest zmuszona do prowadzenia szczególnie efektywnego gospodarowania zasobami wodnymi.

Retencja

O problemie

Duże zmiany obszarowe i czasowe wielkości odpływu wymagają działań z dziedziny retencji i detencji wody. Działania w dziedzinie retencji stanowią podstawę gospodarowania zasobami wodnymi w Polsce, gdyż woda pochodzi niemal wyłącznie z opadów atmosferycznych.

Na razie sytuację w Polsce w dziedzinie dostępności wody próbuje się rozstrzygać emocjonalnie i najczęściej tłumaczyć występujące problemy i zagrożenia ociepleniem globalnym. Faktem jest, że klimat się zmienia, bo to przecież jego podstawowa cecha. Obecnie notujemy globalny trend niewielkiego wzrostu temperatury powietrza; tendencję tę potwierdzają również wyniki prac polskich badaczy. Ale konieczne jest kierowanie się zasadą Davida Siegela: *Nikt nie zaprzecza zmienności klimatu, bo to prawidłowość trwająca tak długo jak historia Ziemi. Klimat się zmienia. Niewiele. Nie szybko. I nie ostatnio.* Występowanie susz i wezbrań stanowiących typowe elementy

naszego klimatu, pojawiające się cyklicznie, o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia są często przedstawiane jako argument w dyskusjach o ociepleniu. Należy przypomnieć, że wcześniej, do 1975 roku, te same czynniki stanowiły argumenty na rzecz globalnego ochłodzenia. Występowanie tych zjawisk jest zbadane, chociaż wymaga dalszych, ciągłych prac, bo przecież zmienność klimatu dostarcza coraz to nowych kwestii.

Retencja w Polsce

Realizacja znaczącej retencji wymaga długoletnich i kosztownych działań. Tak zwana duża retencja nie ma większych szans w naszym kraju na wielki rozwój ze względu na warunki naturalne. Płaski teren uniemożliwia lub czyni nieopłacalnymi lokalizacje wielkich zbiorników, chociaż pozostało jeszcze kilkanaście godnych uwagi i zbadanych lokalizacji. Obecnie szacuje się, że całkowita ilość zmagazynowanej wody w istniejących zbiorni-

Tabela 3. Charakterystyka największych zbiorników wodnych w Polsce

Zbiorniki wodne (nazwa lokalizacja)	Rzeka	Rok uruchomienia	Pojemność całkowita przy maksymalnym piętrzeniu w hm ³	Powierzchnia przy maksymalnym piętrzeniu w km ²	Wysokość piętrzenia w m
Solina (woj. podkarpackie)	San	1968	474,0	22,0	62,0
Włocławek (woj. kujawsko-pomorskie)	Wisła	1970	453,6	75,0	12,8
Czorsztyn-Niedzica (woj. Małopolskie)	Dunajec	1997	238,6	12,1	46,0
Jeziorsko (woj. łódzkie)	Warta	1986	202,0	36,7	11,5
Racibórz Dolny (woj. śląskie)	Odra	2020	185,0	26,3	8,4
Goczałkowice (woj. śląskie)	Wisła	1956	168,4	32,0	14,0
Świnna Poręba (woj. małopolskie)	Skawa	2017	160,8	10,5	40,5
Rożnów (woj. małopolskie)	Dunajec	1941	155,8	15,2	31,0
Dobczyce (woj. małopolskie)	Raba	1986	137,7	10,9	30,5
Otmuchów (woj. opolskie)	Nysa Kłodzka	1933	129,2	20,8	15,1
Nysa (woj. opolskie)	Nysa Kłodzka	1972	121,7	20,7	12,1
Dębe (woj. mazowieckie)	Narew	1963	96,0	33,3	7,0
Tresna (woj. śląskie)	Soła	1967	92,7	9,7	24,8
Turawa (woj. opolskie)	Mała Panew	1948	92,6	19,9	13,3
Pakość (woj. kujawsko-pomorskie)	Noteć	1974	89,2	13,0	4,8
Sulejów (woj. łódzkie)	Pilica	1973	84,3	22,3	11,3

Źródło: GUS, Ochrona Środowiska, Warszawa 2024

kach retencyjnych w Polsce wynosi około 4 mld m³. Stanowi to około 6,5% (przy średniej europejskiej 15%) objętości średniorocznego odpływu rzeczno-ego. Większość wód jest retencjonowana w zbiornikach o pojemności powyżej 3 mln m³. Największy udział mają zbiorniki o pojemności powyżej 100 mln m³ (11 zbiorników), których łączna pojemność wynosi ponad 2345 mln m³. W obiektach zaliczanych do małej retencji wodnej gromadzone jest około 826 mln m³. Warunki fizyczne i geograficzne Polski stwarzają natomiast możliwości rozwoju realizacji retencji wodnej w tej skali (NIK, Informacja o wynikach kontroli: Realizacja Programu Kształtowania Zasobów Wodnych na terenach rolniczych, 2023). W tabeli 3 przedstawiono charakterystykę największych zbiorników retencyjnych w Polsce.

Mała retencja

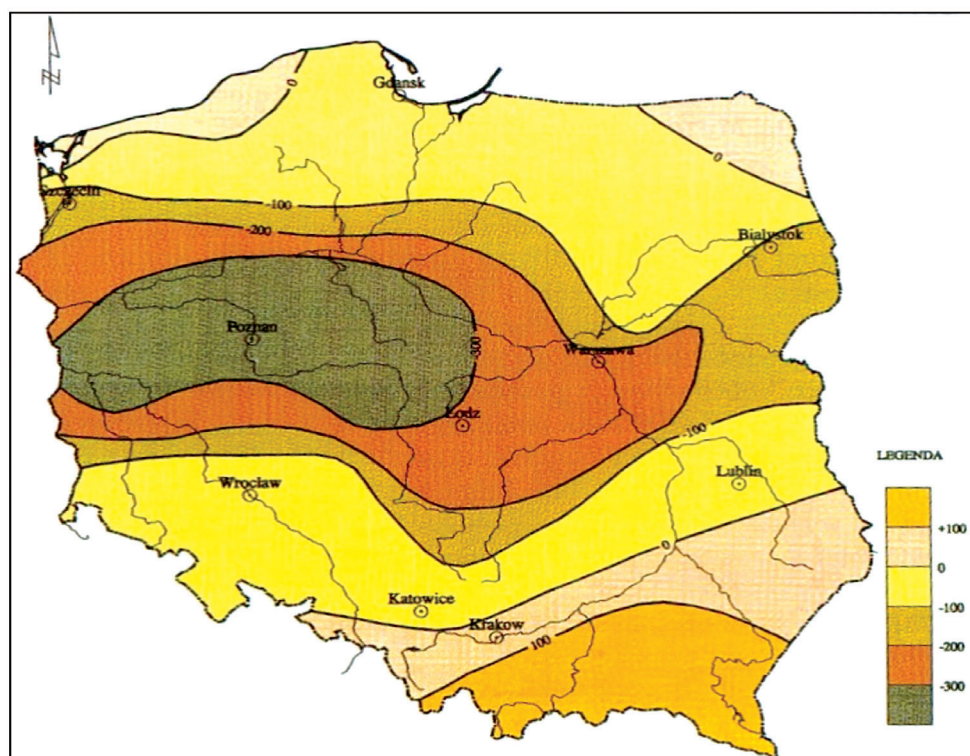
Ważnym elementem i stwarzającym największe możliwości zagospodarowania wód jest mała retencja, która powinna być wykorzystywana we wszystkich obszarach użytkowania wody (przemysł, zaopatrzenie ludności w wodę, rolnictwo, miasta).

Małą retencję można zdefiniować jako (...) *wydłużenie czasu i drogi obiegu wody i zanieczyszczeń w zlewni, mające na celu poprawę stosunków wodnych w zlewni, oczyszczenie wód przy wykorzystaniu właściwości zlewni (naturalnych i sztucznych) i regulację transportu rumowiska oraz zasilanie wód podziemnych* (Kowalczak, Farat, Kępińska-Kasprzak, Kuźnicka i Mager, 1997).

Rozwiązania techniczne małej retencji to przedsięwzięcia powodujące zahamowanie odpływu wód powierzchniowych i zwiększenie dopływu wód opadowych do warstw wodonośnych. Należy do nich retencjonowanie wód powierzchniowych poprzez budowę małych (do 5 mln m³) zbiorników wodnych, podpiętrzanie jezior, wznoszenie budowli piętrzących na ciekach, rowach i kanałach (retencja korytowa), regulowanie odpływu wody z systemów drenarskich i sieci rowów odwadniających oraz zwiększanie zasilania zbiorników wód podziemnych przez budowę stawów i studni infiltracyjnych (NIK, 2015). Działania nietechniczne koncentrują się przede wszystkim na wykorzystaniu istniejących uwarunkowań przyrodniczych, właściwym kształtowaniu krajobrazu zlewni. Do retencji nietechnicznej zaliczyć możemy działania w zakresie: kształtowania odpowiedniego układu pól ornych, użytków zielonych i lasów, poprawy agrotechniki, poprawy

struktury gleb, zwiększenia lesistości, zadrzewień i zakrzaczeń, ochrony i odtwarzania mokradeł (NIK, 2015).

Egzemplifikacją wiedzy o zjawiskach ekstremalnych jest m.in. jej praktyczne wykorzystanie przy tworzeniu hierarchii małej retencji w różnych regionach kraju z uwzględnieniem kształtowania się klimatycznego bilansu wodnego w wieloleciach (Kowalczak i in., 1997) (rys. 8).



Rysunek 8. Hierarchia potrzeb małej retencji w Polsce

Źródło: Kowalczak P., Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Kuźnicka M., Mager P. 1997. Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji. Materiały Badawcze, Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód 19, IMGW, Warszawa: 1–90. ISSN 0239-6238

Przedstawiona na rysunku 8 sytuacja, bazująca na średnich warunkach z wielolecia 1950–1980, ilustruje wartości bilansu wodno-klimatycznego i odpowiada na wiele kwestii związanych z obszarową zmiennością stosunków wodnych na terytorium naszego kraju. Z tego powodu może stanowić podstawę priorytetyzacji realizacji przedsięwzięć z dziedziny małej retencji,

wskazując obszary najbardziej zagrożone występowaniem ekstremalnych zjawisk hydrologiczno-meteorologicznych. Mała retencja to poza bezpośrednią ingerencją w obieg wody także kształtowanie krajobrazu, gdyż każdy z jego elementów wpływa na właściwości zlewni.

Problemy z niedoborem zasobów wodnych lawinowo będą wzrastać, gdy naruszymy zasoby wód podziemnych. Jest to niedoceniane przez badaczy zjawisko występujące okresowo w wielu regionach Polski, w dużej mierze obecnie niedostrzegalne, co najwyżej zmiany te tłumaczone są ociepleniem klimatu. Problemem jest przeeksploatowanie wód podziemnych. Przyczyną zmiany stosunków wodnych jest występujące okresowo lub trwale obniżenie zwierciadła wód podziemnych, co w rezultacie powoduje zerwanie kontaktu hydraulicznego z wodami powierzchniowymi i wstrzymanie zasilania wodami podziemnymi poszczególnych elementów sieci hydrograficznej. Efekt to wzrost liczby cieków i zbiorników okresowych.

Na postępy tego zjawiska wskazują pojawiające się – na początku epizodycznie i lokalnie – niżówki o wzrastających parametrach typu głębokość, czas trwania, ale z czasem prowadzące do zaniku mniejszych rzek, jezior, zbiorników wodnych, stawów, oczek wodnych, obszarów podmokłych. Wstępne objawy procesu można dostrzec podczas występowania ekstremalnych zjawisk hydrologiczno-meteorologicznych, a zwłaszcza susz. Z czasem tym samym warunkom meteorologicznym, występującym w tym samym okresie, a nawet w przybliżonych terminach, towarzyszy coraz bardziej drastyczny przebieg suszy, głównie niżówek. Po destrukcyjnych zmianach w sieci hydrograficznej zachodzą dalsze etapy tego procesu, polegające na wystąpieniu braków wody, na początku w płytkich studniach, a z czasem w głębszych ujęciach.

Pobór i zużycie wody

Deficyty wody występują w miejscach znacznej koncentracji poboru wód, najczęściej na potrzeby zaopatrzenia w wodę ludności i przemysłu. Wzrost zapotrzebowania na wodę nie jest proporcjonalny do wzrostu liczby ludności, a niekiedy wzrasta nawet sześciokrotnie w stosunku do tej liczby, kiedy jest powodowany postępowaniem cywilizacyjnym. W przypadku przemysłu szczególnie zagrożenie stwarzają odkrywkowe kopalnie węgla brunatnego. W Polsce nie

występują jeszcze deficyty wody spowodowane działalnością rolnictwa, które stwarzają poważne problemy w krajach Europy Południowej, ale powinny być rozpatrzone jako zagrożenie perspektywiczne. W każdym przypadku korzystania z wód należy rozpatrzyć możliwość stosowania obiegów zamkniętych.

Pobór wody na potrzeby gospodarki i dla ludności

Głównym źródłem zaopatrzenia gospodarki narodowej w wodę są wody powierzchniowe. Ich pobór w 2023 roku wyniósł $6,5 \text{ km}^3$ i pokrył około 78% potrzeb. Wody powierzchniowe wykorzystywane były głównie do celów produkcyjnych w przemyśle. Pobór wód podziemnych wyniósł $1,8 \text{ km}^3$ i był większy od poboru w 2022 roku o 16 hm^3 . Wody te, o znacznie lepszej jakości niż wody powierzchniowe, wykorzystywane były głównie do zaopatrzenia ludności w wodę do picia. Na ten cel wykorzystano w 2023 roku około $1,6 \text{ km}^3$ wód podziemnych.

Ostatnie dwadzieścia lat to okres stabilizacji rozkładu wielkości poborów wody w poszczególnych sektorach gospodarki. W latach 2000–2023 pobór wody (bez nawodnień w rolnictwie i leśnictwie) na potrzeby gospodarki narodowej i ludności zmniejszył się o 24% (z $10,9 \text{ km}^3$ w 2010 roku do $8,3 \text{ km}^3$ w 2023 roku). Proporcje wykorzystania wody kształtowały się następująco: 68% wody dla przemysłu, 23% dla gospodarki komunalnej, 9% do napełniania i uzupełniania stawów rybnych (GUS, Ochrona Środowiska, Warszawa 2024).

W 2023 roku nastąpił istotny spadek poboru na cele wytwarzania, przesyłania, dystrybucji i handlu energią elektryczną (o 18%) mający wpływ na rozkład wielkości poborów wody w poszczególnych sektorach gospodarki. Proporcje wykorzystania wody kształtowały się następująco: 65% wody dla przemysłu (spadek o 4 % w stosunku do roku poprzedniego), 25% dla gospodarki komunalnej (wzrost o 3% w stosunku do roku poprzedniego), 10% do napełniania i uzupełniania stawów rybnych (wzrost o 1% w stosunku do roku poprzedniego) (GUS, Ochrona Środowiska, Warszawa 2024).

W tym miejscu należy zaakcentować potrzeby rolnictwa, gdzie – zdaniem autora – pobory i zużycie wody są niedoszacowane i będą wzrastać w przyszłości z powodu konieczności nawadniania upraw w celu nie tylko zwiększenia, ale także stabilizacji produkcji. Potrzeby polskiego rolnictwa szacowane są na około 10% pobieranej wody, np. w 2019 roku było to $847,4 \text{ mln m}^3$ (przemysł – $6292,5 \text{ mln m}^3$, gospodarstwa domowe $1292,2 \text{ mln m}^3$).

W skali świata szacuje się, że około 70% zużycia wody związanej z działaniem człowieka przypada na rolnictwo, przy czym gdy w Afryce jest to 85%, to w Europie 35%. Również w Europie występuje duże zróżnicowanie, gdyż jeżeli udział ten w Polsce wynosi 10%, a w Skandynawii 12%, to w krajach południa Europy sięga powyżej 60% (Grecja, Portugalia, Hiszpania i Malta). Szacuje się, że na świecie 270 mln ha gruntów rolnych jest nawadnianych, co stanowi 18% wszystkich gruntów, ale dają one 40% żywności.

Oficjalne dane dotyczące nawodnień w polskim rolnictwie nie są pewne (są zaniżone). Najprawdopodobniej nawadnia się około 2 mln ha, przy czym połowę tego areału stanowią użytki zielone (łąki i pastwiska) – nawadniane podsiąkowo, a połowę uprawy warzywne i sadownicze – nawadniane ciśnieniowo (Rolbiecki, 2025). Nawodnienia w Polsce są uwarunkowane ekonomicznie, tzn. zmienność okresów niedoborów wody (lata mokre – lata suche) jest na tyle duża, że nie opłaca się inwestować w nowoczesne systemy nawadniające, a nawadnianie stosować tylko interwencyjnie, gdy zagrożone są uprawy szczególnie dochodowe.

Tak więc obecnie – mimo niedoszacowania danych – powierzchnia nawodnień w Polsce nie jest znacząca. Od końca lat 80. XX wieku, w efekcie przemian w gospodarce narodowej i zmian warunków ekonomicznych w rolnictwie, notowano systematyczny spadek powierzchni faktycznie nawadnianych oraz wykorzystania systemów i urządzeń nawadniających. Powierzchnia nawadniana w latach 1990–2016 zmniejszyła się o 76%. Urządzenia melioracyjne funkcjonują na około 6,4 mln ha gruntów rolnych, w tym około 4,6 mln ha gruntów ornych oraz 1,8 mln ha użytków zielonych. W urządzenia nawadniające wyposażona jest znikoma część gruntów zmeliorowanych – około 0,4 mln ha.

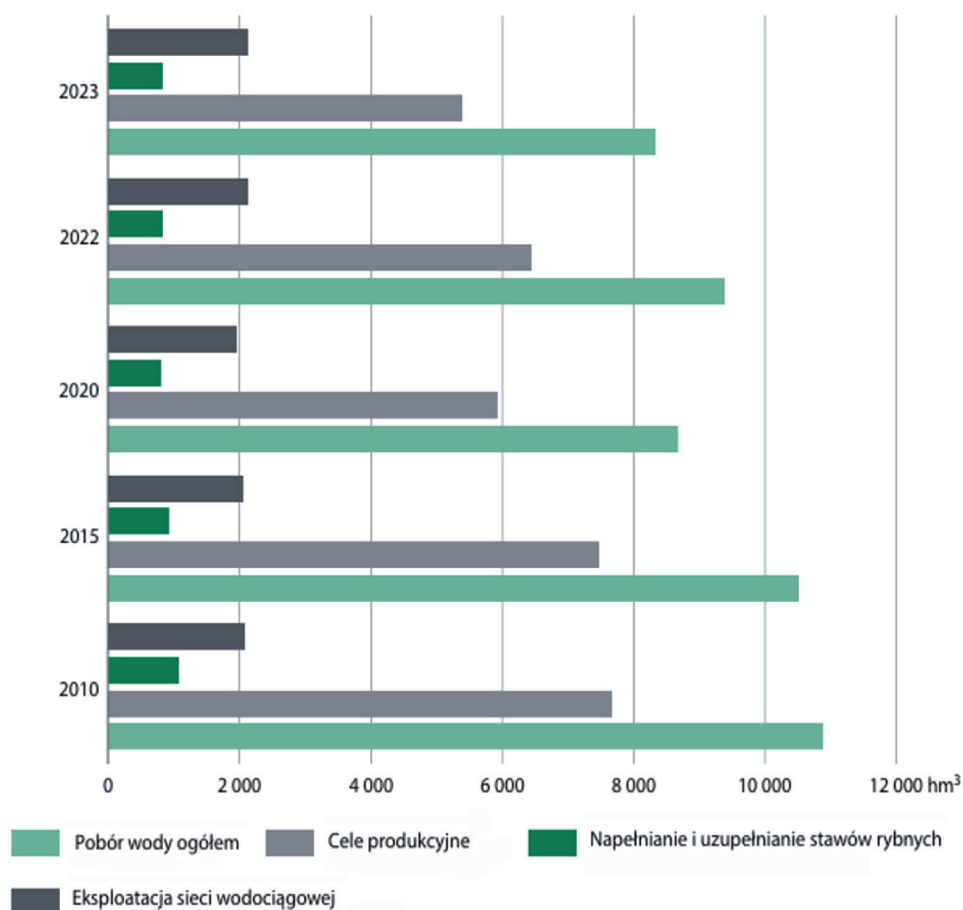
Pobór wody w przeliczeniu na jednego mieszkańca (244 m^3 w 2021 roku) plasuje Polskę w środku stawki krajów Unii Europejskiej. Największy pobór wody na mieszkańca odnotowano w Grecji (946 m^3), a najmniejszy w Luksemburgu i na Malcie, gdzie wyniósł odpowiednio 76 oraz 80 m^3 na mieszkańca.

Pobór wody na potrzeby gospodarki narodowej i ludności według jego źródeł przedstawiono w tabeli 4, a pobór wody na potrzeby gospodarki narodowej i ludności, według działów, w latach 2010, 2015, 2020, 2022 i 2023 na rysunku 9.

Tabela 4. Pobór wody na potrzeby gospodarki narodowej i ludności według źródeł poboru

Wyszczególnienie	2010	2015	2020	2022	2023
	w hektometrach sześciennych				
Ogółem	10 866,4	10 502,6	8 666,3	9 385,4	8 331,8
Wody powierzchniowe	9 172,6	8 770,2	6 900,8	7 586,0	6 516,5
Wody podziemne	1 625,2	1 677,3	1 720,2	1 761,0	1 776,6
Wody z odwadniania zakładów górniczych oraz obiektów budowlanych (użyte do produkcji)	68,6	55,2	45,3	38,4	38,7

Źródło: GUS, Ochrona Środowiska, Warszawa 2024

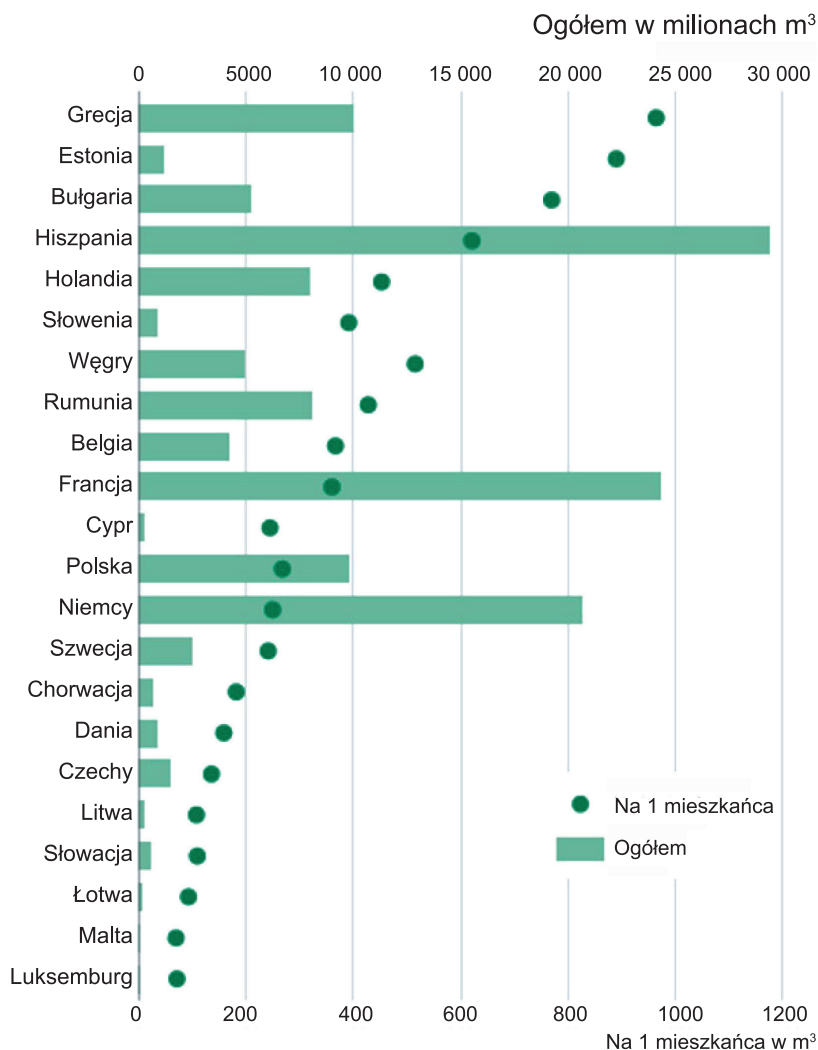


Rysunek 9. Pobór wody na potrzeby gospodarki narodowej i ludności

Źródło: GUS, Ochrona Środowiska, Warszawa 2024

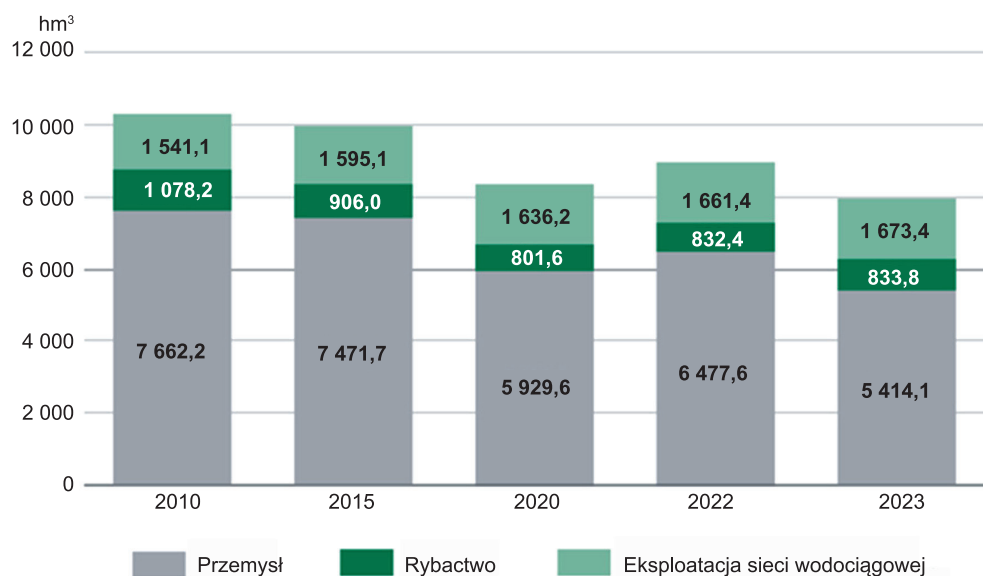
Bardzo interesujące jest zestawienie wielkości poboru wody w Polsce i w wybranych krajach Unii Europejskiej zarówno w liczbach bezwzględnych, jak i przeliczeniu na jednego mieszkańca; zaprezentowano je na rysunku 10.

Zmienność zużycia wody na potrzeby gospodarki narodowej i ludności pokazano na wykresie (rys. 11). Największy wpływ na wielkość zmian ma zużycie wody w przemyśle, które charakteryzuje się tendencją spadkową.



Rysunek 10. Pobór wody na potrzeby gospodarki narodowej i ludności w wybranych krajach Unii Europejskiej

Źródło: GUS, Ochrona Środowiska, Warszawa 2024



Rysunek 11. Zużycie wody na potrzeby gospodarki narodowej i ludności w latach 2010, 2015, 2020, 2022 i 2023

Źródło: GUS, Ochrona Środowiska, Warszawa 2024

W początkowym okresie transformacji ustrojowej w sposób wyraźny spadły pobory wody na potrzeby gospodarki komunalnej. Zużycie po 1990 roku zmniejsza się w wyniku doskonalenia urządzeń wodnych oraz polityki cenowej motywującej do oszczędzania. Mimo obniżenia zużycia wody komunalnej w miastach, porównanie z miastami zachodnioeuropejskimi wypada dla Polski niekorzystnie z powodu relatywnie wyższych wskaźników zużycia w przeliczeniu na mieszkańca (na skutek nieszczelności urządzeń i mniejszego zakresu stosowania wodomierzy). Do regionów o największym udziale eksploatacji sieci wodociągowych należą województwa: śląskie, pomorskie, podlaskie i lubuskie, w których ten rodzaj poboru wody objął więcej niż 50% całkowitego zużycia.

Czy w Polsce może zabraknąć wody? Jakie są przyczyny występujących zagrożeń?

Wody w Polsce może lokalnie zabraknąć, co potwierdzają pojawiające się prawie corocznie deficyty w niektórych zlewniach. Obecnie takie sytuacje występują epizodycznie, chociaż kolejne susze coraz dobitniej wskazują na

możliwość występowania takiej sytuacji częściej, w bardziej dotkliwej postaci. Będzie to skutek niewłaściwego planowania przestrzennego prowadzący do nadmiernej koncentracji ludności, przemysłu, wodochłonnej produkcji rolniczej, a więc wzrostu potrzeb wodnych, a także lokowania inwestycji wodochłonnych na obszarach wododziałowych i z natury ubogich w wodę.

Oddzielne zagadnienie stanowi wpływ oddziaływania kopalni odkrywkowych. Również rozwój cywilizacyjny, zwłaszcza w okresie powojennym, spowodował nieproporcjonalnie duży wzrost konsumpcji wody w stosunku do wzrostu liczby ludności. Od początku lat 80. XX wieku obserwujemy spadek zapotrzebowania na wodę w Polsce. Pierwszą przyczyną jest likwidacja wodochłonnych gałęzi przemysłu, drugą – wyraźne zmniejszenie poboru wody na potrzeby komunalne. Jest jeszcze ważny problem niedoszacowanych potrzeb wodnych rolnictwa.

Obecnie epizodyczne problemy z zaopatrzeniem w wodę występują w niektórych regionach kraju w okresie występowania susz. W większości wynika to ze słabej infrastruktury. Należy tu podkreślić okresowe zagrożenia powodowane deficytem wody zarówno latem, jak i zimą. Podobne problemy występują w przypadku elektrowni ciepłych, gdzie spadek produkcji energii elektrycznej jest powodowany brakiem odpowiedniej ilości wody do chłodzenia.

W przyszłości wraz z nadmierną eksploatacją zasobów wód podziemnych występowanie braków wody rozpocznie się od lokalnych problemów z zaopatrzeniem w wodę i w miarę zużycia zasobów będzie obejmowało coraz większe obszary. Raczej niemożliwy jest totalny brak wody obejmujący terytorium całego kraju, ale skutki braku wody mogą przekładać się na większy obszar Polski, np. wskutek ograniczenia produkcji energii elektrycznej wywołanego brakiem wód chłodniczych.

Sądzę, że wbrew obecnie panującym trendom, będziemy zmuszeni w przyszłości do realizacji zbiorników retencyjnych (lub alimentowania zbiorników wód podziemnych), kanałów transferujących wodę, chociażby w celu zabezpieczenia lokalnych zasobów dyspozycyjnych. Otwartą kwestią jest zakres tych przedsięwzięć. Proponowane przez środowiska proekologiczne tzw. rozwiązania oparte na naturze będą skuteczne tylko w niewielkiej, lokalnej skali, aby zaś wpłynęły na bilanse zlewniowe, musiałyby być znacząco zwielokrotnione. Pociąga to za sobą ogromne koszty i trudności w utrzymaniu tak wielu rozproszonych obiektów i systemów.

Kolejnym ograniczeniem w korzystaniu z zasobów wodnych jest ich zanieczyszczenie. Był w Polsce okres, kiedy znaczna część wód nie nadawała się do użytku ze względu na ich zanieczyszczenie. Ich fatalny stan wpłynął m.in. na rezygnację z tradycyjnego sposobu nawadniania użytków zielonych. Z perspektywy czasu można stwierdzić, że znacznie ograniczyło to możliwości rozbudowy retencji, a zwłaszcza budowę małych zbiorników retencyjnych. Obecnie sytuacja uległa poprawie, ale nadal zbyt wielka ilość wody charakteryzuje się niską jakością. Nadal obserwuje się postępującą degradację jezior, zbiorników wodnych oraz obszarów wodno-błotnych wynikającą także z przyczyn naturalnych¹.

Na tle powyższych informacji bardzo optymistycznie brzmi komunikat Państwowego Instytutu Geologicznego dotyczący zasobów wód podziemnych: *W Polsce rezerwy wód podziemnych są znaczne, a w skali kraju zużywamy jedynie 20% dostępnych do zagospodarowania zasobów. W Polsce około 70% wody przeznaczonej do spożycia pochodzi z ujęć wód podziemnych. Warunki hydrogeologiczne korzystne dla budowy ujęć głębinowych i szczegółowe rozpoznanie zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych na obszarze całego kraju oraz niski stopień ich zagospodarowania umożliwiają zwiększenie wykorzystania wód podziemnych na pokrycie niedoborów wody, zwłaszcza w okresach suszy. Zasoby dyspozycyjne wód podziemnych w Polsce wynoszą 33,7 milionów m³ na dobę* (<https://www.pgi.gov.pl/aktualnosci/display/12856-dzien-wody-2021-ile-wody-podziemnej-mamy-w-polsce.html>).

Jak ograniczyć ryzyko braku wody?

Polska jest krajem o małych zasobach wodnych, tym bardziej więc gospodarowanie wodami powinno być przedmiotem szczególnej, także społecznej, troski. Koniecznością jest uwzględnienie w procesie zarządzania zasobami wodnymi specyfiki zlewni, a ta wynika nie tylko z warunków naturalnych, ale także ze sposobu zagospodarowania terenu. Wbrew dobrze znanej w melioracji zasadzie woda nie jest zagospodarowana w miejscu opadu i w tym należy upatrywać przyczyny wielu nieudanych programów gospodarowania wodą.

¹ Kwestię jakości wód podejmują Marek Gromiec i Małgorzata Marciniewicz-Mykieta w rozdziale „Stan jakości krajowych wód powierzchniowych”.

Typowym przykładem są obszary zurbanizowane, czyli obecnie najbardziej zagrożone skutkami występowania zjawisk ekstremalnych. W miastach do niedawna cały wysiłek skierowany był na jak najszybsze odprowadzenie wód opadowych poza granice miasta. Zapominamy, że uszczelniliśmy i w dalszym ciągu uszczelniamy powierzchnie miast, zapominając o środkach wspierających bilans wodny i utrzymujących reżim cieków miejskich zbliżony do naturalnego. W ten sposób nie tylko zwiększamy straty powodziowe, ale też tracimy wodę, która powinna być w większym stopniu wykorzystana w mieście; jest przecież cenna i często niezastępowalna. Woda powinna być zagospodarowana w krajobrazie miejskim, zasilać wody podziemne, uzupełnić braki przekształconej sieci hydrograficznej. Kiedy przychodzi kolejny okres suszy, co najwyżej można tradycyjnie otworzyć akademicką dyskusję na temat zmian klimatu i śledzić wskazania słynnego warszawskiego wodowskazu, czy aby nie padnie rekordowe minimum.

Zlewnie zurbanizowane zajmują stosunkowo małą powierzchnię, ale na ich obszarze mieszka blisko 70% mieszkańców Polski. Zarządzanie wodą na obszarach miejskich jest jednym z największych wyzwań współczesnej gospodarki wodnej (Kowalczak, 2015, 2011). Woda w miastach to główny problem wodny XXI wieku, tym bardziej palący, im szybciej postępuje urbanizacja i związana z nią antropopresja na zasoby wodne².

Podobnie sytuacja wygląda w przypadku użytków rolnych. To na nich powstaje około 80% odpływu i zanieczyszczeń wód w Polsce. Od kilkuset lat prowadzono prace mające na celu odwodnienie tych obszarów, a potem regulację stosunków wodnych, co wynikało z potrzeb produkcji rolnej i pierwotnych właściwości tych terenów. Obecnie cały system drenaży podziemnych i rowów działa, ale aby skutecznie regulować stosunki wodne (nie tylko osuszać), konieczne są sprawne budowle wodno-melioracyjne w tych systemach. Od kilku lat tworzy się zapisy prawne prowadzące do likwidacji, a co najmniej zaniedbania stanu technicznego tych budowli (ograniczenie robót utrzymaniowych lub wręcz zakaz remontów). Dotyczy to przede wszystkim budowli zlokalizowanych na obiektach wodnomelioracyjnych będących tworami sztucznymi, utworzonymi i służącymi regulacji stosunków wodnych na obszarach produkcji rolnej. Brak tych budowli lub ich niesprawność powoduje, że odpływ z obszarów rolniczych zwiększony działaniem drenażu jest

² Zagadnienia związane z zagospodarowaniem wody na obszarach zurbanizowanych są przedmiotem rozdziału „Woda w mieście” autorstwa Pawła Falacińskiego i Anny Sosnowskiej.

kolejną bezsensowną daniną na rzecz tzw. renaturyzacji, a w istocie stratą. W efekcie tak kształtowany odpływ z obszarów zurbanizowanych i rolniczych spływa do rzek i do morza. Jak na kraj w kryzysie wodnym robimy dużo, aby ten kryzys pogłębić.

Co jest konieczne, aby zmienić obecną sytuację?

Konieczna jest konsekwentna integracja przedsięwzięć z dziedziny gospodarowania wodą z planowaniem przestrzennym, poprawa prawodawstwa, wdrożenie norm prawnych do praktyki. Konieczna jest współpraca z samorządami, bo tam właśnie praktycznie wykorzystywane są wyniki prac związanych z gospodarką wodną i tylko to warunkuje sukces. Brak takiej integracji i współpracy to przyczyny m.in. niewykorzystania efektów wdrożenia dyrektywy powodziowej; stworzono bardzo kosztowne dokumenty pozwalające w sposób nowoczesny rozwiązywać problemy na styku planowania przestrzennego i ochrony przeciwpowodziowej, ale nie nadano im dostatecznie silnej rangi w procesach planistycznych. Spowodowało to odejście od realizacji jednego z najważniejszych zadań w gospodarowaniu wodą w Polsce, tj. systematycznego redukowania ryzyka powodziowego (Kowalczak, 2014).

Powiązanie gospodarowania wodą z planowaniem przestrzennym to także pomysł na zminimalizowanie ryzyka braku wody. Lokowanie działalności generującej potrzeby wodne musi uwzględniać miejscowe zasoby, a tam, gdzie wystąpić może nadmierna koncentracja potrzeb, należy zastosować techniki rekompensujące brak wody w okresach kryzysowych, np. zbiorniki retencyjne, zwiększenie retencji wód podziemnych, przerzuty wody itp.

Niezbędna jest ocena efektywności zmian organizacyjnych, które wystąpiły w gospodarowaniu wodą w Polsce w ostatnich latach. Budując obecny system, „wodziarze” myśleli o organizacji na kształt dawnego Centralnego Urzędu Gospodarki Wodnej – jednostki centralnej podległej premierowi, skupiającej wszystkie zadania związane z wodą, kierowanej przez osobę o określonej pozycji w środowisku, a także na forum międzynarodowym. Dotychczasowe doświadczenia wskazywały, że rozproszenie problematyki wodnej w różnych resortach wiązało się nie tylko z brakiem koordynacji, ale także preferowaniem działań specyficznych dla danego resortu, bez uwzględnienia innych potrzeb. Dokonano połączenia służb wodnych, koniecznego szcze-

gólnie dla realizacji zadań w okresie występowania zjawisk ekstremalnych. Niestety, z różnych, także politycznych powodów proces integracji instytucji szczebla rządowego i samorządowego się nie powiódł. Odrębnym problemem było podporządkowanie działalności Państwowego Gospodarstwa Wodnego „Wody Polskie” Ministerstwu Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej, które zajmowało się w istocie rzeczy tylko fragmentem tego, co wchodzi w zakres nowoczesnej i zintegrowanej gospodarki wodnej. Ponadto, zabrakło koniecznego okresu przejściowego na wdrożenie nowego typu organizacji zarządzania zasobami wodnymi, a przede wszystkim skutecznego systemu finansowania.

Moim zdaniem należałoby wrócić do idei Centralnego Urzędu Gospodarki Wodnej i tworzyć analogiczne struktury w „Wodach Polskich”, bo to dobre i sprawdzone rozwiązanie, oczywiście wymagające adaptacji do współczesnych uwarunkowań.

Podstawowe mankamenty gospodarowania wodą w Polsce

Z punktu widzenia zarządzania zasobami wodnymi w Polsce brakuje najbardziej dwóch podstawowych rzeczy: wizji i tradycji przekazywania realizowanych zadań następcom politycznym. Brak wizji dotyczącej gospodarowania wodą jest pochodną braku kompetencji rządzących. Spojrzenie na gospodarowanie wodą w Polsce zmienia się szybciej niż zmiany gabinetów politycznych. Przeszliśmy w ciągu ostatnich lat z epoki rewolucyjnej ekologii do nowego, równie rewolucyjnego programu rządu dotyczącego poprawy żeglowności naszych rzek, będącego absolutnym zaprzeczeniem dotychczasowych działań. Czy rzeczywiście nie oddaje racji staremu powiedzeniu, że *Rewolucja zjada własne dzieci*? Interesujące jest to, że obydwa kierunki bazują na naszych zobowiązaniach wobec UE. A paradoks, moim zdaniem, wynika z genezy tworzenia zasad gospodarowania wodą w UE w tym samym czasie dla krajów o znacznie zróżnicowanej infrastrukturze oraz historii rozwoju gospodarczego i społecznego. Obecnie, po staropolsku, realizujemy trzecią drogę.

Konieczna jest ciągła poprawa całego procesu legislacyjnego od konsultacji do tworzenia norm i aktów prawnych poprzez wdrożenie norm prawnych do praktyki, konsekwentną realizację przedsięwzięć z dziedziny gospodarowania wodą, z wykorzystaniem wiedzy z pokrewnych dziedzin.

W przypadku zaopatrzenia w wodę konieczne jest doprecyzowanie powszechnie obowiązujących regulacji prawnych, określających zasady zapewnienia funkcjonowania urządzeń zaopatrzenia w wodę w warunkach kryzysu. Dotychczasowe problemy wynikały, zdaniem autora, z powodu braku przez dłuższy okres zapisu na poziomie ustawowym, dotyczącego kompetencji określonego ministra w zakresie zbiorowego systemu zaopatrzenia w wodę.

W dziedzinie edukacji konieczne należy zmienić sposób myślenia, zastępując słowo „oszczędność” innym – „efektywność”. Warto chociaż trochę w Polsce wykorzystać dorobek nauki, bo tak się przecież robi w krajach bardziej zaawansowanych technologicznie. Ograniczenie udziału nauki w rozwiązywaniu narastających problemów, a w szczególności organizacyjne i kadrowe osłabienie IMGW-PIB, likwidacja oddziałów Instytutu, likwidacja pionu naukowego i większości zakładów naukowych – to fakty trudne do skomentowania. A IMGW to klucz do rozwiązań w zakresie dyskusji o klimacie i o efektywnym gospodarowaniu wodą. Likwidacja Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych – o siedemdziesięcioletniej tradycji – mocno związanego z praktyką gospodarowania wodami i zagospodarowaniem terenów rolniczych, a także upadek znaczących biur studiów i projektów to kolejne kamienie milowe postępującej zapaści.

Decyzja o obecnym i przyszłym sposobie gospodarowania przestrzenią w największej mierze leży obecnie w rękach samych gmin. Dlatego jeżeli prawo miejscowe, stanowione w formie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego (lub tzw. planu zabudowy), ma skutecznie chronić środowisko, zdrowie ludzi i mienie, to jego konstrukcja, w odniesieniu do zagrożeń powodziowych, musi być oparta na dokładnym rozpoznaniu uwarunkowań fizjograficzno-przyrodniczych, charakteryzujących podatność terenu objętego pracami planistycznymi na zagrożenie powodziowe. W omawianej dziedzinie występują znaczne problemy, gdyż obecnie np. w gminach skargi mogą być kierowane wyłącznie do komórek budownictwa i urbanistyki, które nie zatrudniają specjalistów z dziedziny gospodarki wodnej, melioracji, którzy mogliby ocenić skutki budowy obiektu stanowiącego przedmiot skargi. W przypadku interwencji przydatne byłyby zmiany formalne wystąpień. W wielu przypadkach w jednej sprawie należy składać wnioski do kilku decydentów, a może lepsze byłyby wnioski zintegrowane.

Brakuje kadr – w branży mamy jednopokoleniową przerwę w kształceniu na poziomie szkoły wyższej. Na poziomie szkoły średniej prawie całkowicie zlikwidowano kształcenie specjalistów.

Obecnie brakuje podstaw prawnych dla gospodarowania wodą na obszarach zurbanizowanych. Koniecznością jest stanowienie prawa o charakterze profilaktycznym, tj. umożliwiającym ingerencje na poziomie planowania, projektowania i wykonawstwa, a nie skazywanie stron na działania po zakończeniu przedsięwzięcia, w trakcie ujawnienia się negatywnych skutków oddziaływania inwestycji.

Brakuje katalogów dobrych praktyk w tej dziedzinie, brakuje albumów typowych rozwiązań, np. z obiektami małej architektury, które mogłyby być wykorzystane przy gospodarowaniu wodami, brak obiektów wzorcowych. Dodatkowo pozostały w mentalności posiadaczy nieruchomości niedawne fiskalne działania administracji w dziedzinie opodatkowywania, np. małych oczek wodnych.

Brakuje dobrego prawa w dziedzinie zagospodarowania wód opadowych, np. obecne próby wprowadzenia podatków deszczowych, dachowych etc. to podróbki praw stanowionych w landach niemieckich. Tylko że w polskim wykonaniu występuje wyłącznie człon fiskalny, tj. podatek od nieprzepuszczalnej powierzchni, natomiast w niemieckim pierwowzorze są dalsze części, przewidujące dopłaty do podjętych przez właścicieli nieruchomości działań i w efekcie, po wykonaniu przewidzianych prawem działań, zwolnienie z podatku dachowego. Wynika to z celu prawa, którym jest zagospodarowanie wód deszczowych, a w Polsce – wobec braku najbardziej istotnych z punktu widzenia gospodarki wodnej segmentów pierwowzoru ustawy – to zwykła nieefektywna działalność fiskalna państwa. Niektórzy badacze przedstawiają argumenty wskazujące na to, że w wielu regionach Polski występuje nie tyle deficyt zasobów wodnych, ile kryzys zaopatrzenia w wodę związany z niedoborem infrastruktury hydrotechnicznej i wodno-kanalizacyjnej, niewłaściwą politykę gospodarczą i ekologiczną oraz niskimi dochodami ludności (Thier, 2016).

Kluczowym elementem ochrony zasobów wodnych jest także edukacja i budowanie społecznej świadomości.

Zamiast podsumowania

Zarządzanie wodami obejmuje wiele kierunków działania: gospodarowanie wodami powierzchniowymi i podziemnymi, wodami opadowymi, zarządzanie ryzykiem wywołanym wystąpieniem ekstremalnych zjawisk hydrologiczno-meteorologicznych itp. Należy wyraźnie wskazać konieczne podstawowe przedsięwzięcia w każdym z wyżej wymienionych kierunków.

W ostatnich stu kilkudziesięciu latach wystąpiły duże zmiany w bilansach wodnych zlewni i w reżimach hydrologicznych cieków i zbiorników wodnych, spowodowane na początku tego okresu regulacją rzek i realizacją licznych budowli wodnych. Przyczyniło się to m.in. do wzrostu gwałtowności powodzi, a także intensywności suszy. Największe zmiany w bilansie wodnym zlewni i reżimie hydrologicznym cieków wywołują zmiany w zagospodarowaniu zlewni i to powinno być podstawą wszelkich badań i ocen. Zmiany są tak duże, że należy w coraz większej liczbie przypadków zrezygnować z osiągnięć klasycznej hydrologii i sięgać po nową metodykę obliczeń uwzględniającą zmiany zabudowy zlewni.

Dokonany powyżej przegląd problemów gospodarowania wodą w Polsce pozwala na wskazanie głównych kierunków działań w następnych latach:

- zarządzanie wodami powierzchniowymi i podziemnymi – należy „odrobić” zaległości, a gotowe wzory można znaleźć w innych krajach europejskich,
- zarządzanie wodami opadowymi – wreszcie rozpocząć, nadając temu odpowiedni status prawny,
- zarządzanie ryzykiem powodziowym – wreszcie współpracować z samorządami, bo to one są odbiorcami standardów i rozwiązań, a podstawą wdrożeń powinno być uwzględnienie wyników studiów hydrologicznych w szeroko pojętym planowaniu przestrzennym realizowanym przez jednostki samorządowe,
- problemy urbanizacji – rzeczywiście istnieją, i to głównie z przyczyny działalności człowieka mającej niewiele wspólnego z ociepleniem klimatu,
- potrzebne wyraźne odniesienie do kwestii gospodarowania ciekami rolniczymi,

- dostrzec wreszcie problem jezior i obszarów wodno-błotnych,
- działania edukacyjne – nie mogą poprzestawać na propagowaniu oszczędzania wody, bo to bardzo uproszczone podejście; należy propagować efektywne użytkowanie wody. W przypadku prezentowania problemów gospodarowania wodą razi brak wiedzy u dziennikarzy, a szczególnie działaczy klimatycznych.

Literatura

EUROSTAT, <https://ec.europa.eu/eurostat> 2022

GUS (2022). *Ochrona Środowiska 2022*. Publikacja GUS ochrona_srodowiska_2022 (1).pdf

GUS (2024). *Ochrona Środowiska 2024*. Publikacja GUS ochrona_srodowiska_2024 (1).pdf

Ilnicki, P., Farat, R., Górecki, K., Lewandowski, P. (2012). *Mit stepowienia Wielkopolski w świetle wieloletnich badań obiegu wody*. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Kowalczak, P., Farat, R., Kępińska-Kasprzak, M., Kuźnicka, M., Mager, P. (1997). *Hierarchia potrzeb obszarowych malej retencji*. Materiały Badawcze, Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód 19, IMGW, 1–90. ISSN 0239-6238.

Kowalczak, P. (2007). *Konflikty o wodę*. Przeźmierowo: Wydawnictwo Kurpisz S.A., ss. 480, il. 240, bibl. 611. ISBN 978-83-89738-99-8.

Kowalczak, P. (2011). *Wodne dylematy urbanizacji*. Poznań: Wydawnictwo Poznańskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk, ss. 643, ISBN 978-83-7654-116-7.

Kowalczak, P., Andrusiak, J. (2011). *Legal basis of rain water management in Poland. Sensitive Approach to Water in Urban Environment*. Poznań: Publishing House of Poznan University of Technology.

Kowalczak, P., Matczak, P. (2013). *Linking water flow with money. Water administration, property rights and fiscal system in Poland Symposium on Scale in Environmental Governance: Power Reconfiguration, Democratic Legitimacy and Institutional (Mis-) fit*. Berlin-Brandenburg Academy of Sciences and Humanities, 7–8 March 2013.

Kowalczak, P. (2013). *Water management in urban areas as a result of increasing urbanization*. 11th INTECOL Congress, Ecology: Into the next 100 years, London, 18–23 August 2013.

Kowalczak, P., Choryński, A. (2013). *Methods of financing water and flood management in Poland Insights from the transformation period and twenty years later*. International Conference on Economic and Social Sustainability GNESS, September 2013, Tokyo.

- Kowalczak, P. (2014). *Powódzie a planowanie przestrzenne*. XX Konferencja Naukowo-Szkoleniowa „Remediacja, rekultywacja i rewitalizacja”, Kołobrzeg, 23–26.04.2014.
- Kowalczak, P. (2015). *Opracowanie założeń ekspertyzy dotyczącej map powodziowych*. Maszynopis wykonany dla Związku Miast Polskich.
- Kowalczak, P. (2015). *Zintegrowana gospodarka wodna na obszarach zurbanizowanych*. Poznań: Wydawnictwo Prodrug.
- Kowalczak, P. (2024). *Zmiany klimatu*. Warszawa: Wydawnictwo 3S Media & Fundacja Najwyższy Czas, ISBN 978-83-67135-13-9.
- NIK (2024). *Informacja o wynikach kontroli Realizacja Programu Kształtowania Zasobów Wodnych na terenach rolniczych (P/23/036/LBI)*, <https://www.nik.gov.pl/kontrola/wyniki-kontroli-nik/pobierz,NIK-P-23-036-KRR-zasoby-wodne-rolnictwo-1,typ,k.pdf>
- NIK (2015). *Informacja o wynikach kontroli Programu Ograniczanie skutków susz i powodzi w drodze zwiększania malej retencji wód Nr P/14/074*. Delegatura w Katowicach.
- PIG (2021). *Komunikat Państwowego Instytutu Geologicznego*, <https://www.pgi.gov.pl/aktualnosci/display/12856-dzien-wody-2021-ile-wody-podziemnej-mamy-w-polsce.html>
- Rolbiecki, R. (2025). *Perspektywy nawodnień roślin w Polsce*. Środowiskowe Seminarium Naukowe IMGW-PIB/UPWr – 23 kwietnia 2025.
- Rubel, F., Kottek, M. (2010). *Obserwowane i prognozowane zmiany klimatu w latach 1901–2100 przedstawione na mapach świata według klasyfikacji klimatu Köppena-Geigera*. *Meteorologische Zeitschrift*, 19(2): 135–141, doi: 10.1127/0941-2948/2010/0430
- Starkel, L. (red.) (1999). *Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze*. Warszawa: PWN.
- Thier, A. (2016). *Gospodarcze i społeczne przyczyny oraz skutki deficytu zasobów wodnych*. Biblioteka Ekonomia i Środowisko, wyd. 36.
- WMO (2023). *Raport o stanie globalnych zasobów wodnych*. Nr WMO 1362.

STAN JAKOŚCI KRAJOWYCH WÓD POWIERZCHNIOWYCH

MAREK JERZY GROMIEC, MAŁGORZATA MARCINIEWICZ-MYKIETA

Wprowadzenie

W rozdziale przedstawiono stan jakości krajowych wód powierzchniowych na tle rozwoju monitoringu i systemów informatycznych oraz jego elementów technicznych. Dodatkowo zaprezentowano zakres monitoringu stanu tych wód w Ramowej Dyrektywie Wodnej i w znowelizowanych ustawach krajowych. Podając wymagany proces oceny, przedstawiono stan jakości tych wód dla ostatniego cyklu gospodarowania wodami na obszarach dorzeczny, obejmującego okres 2016–2021. W związku ze złym stanem jakości wód powierzchniowych wskazano wybrane kierunki działań dla poprawy stanu jakości tych wód.

Rozwój systemów prawnych ocen stanu jakości wód powierzchniowych

Historia rozwoju krajowego monitoringu jakości wód powierzchniowych sięga lat 50. ubiegłego stulecia, kiedy to rozpoczęto regularny monitoring Wisły i Odry. Pierwszy system oceny został określony w Rozporządzeniu Prezesa Rady Ministrów z dnia 28 lutego 1962 roku w sprawie norm dopuszczalnych zanieczyszczeń wody oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki odprowadzane do wody i do ziemi, i uwzględniał liczne parametry

fizyczne, chemiczne i biologiczne jakości wód (m.in. miano coli, saprobowość, pasożyty zwierzęce, bakterie i wirusy chorobotwórcze). Było to pierwsze ujednolicenie systemu ocen stanu jakości wód w Polsce, w którym zapoczątkowano tzw. *zasadę przezorności*.

Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 9 czerwca 1970 roku wprowadzono nowe normy, uwzględniające 44 wskaźniki fizykochemiczne oraz 4 biologiczne, w tym saprobowość, miano coli typu kałowego, bakterie chorobotwórcze oraz próbę biologiczną z rybami, nie określono w nim sposobu prowadzenia badań czy dokonywania ocen jakości wód. W kolejnych rozporządzeniach wydanych w latach 1975 oraz 1987 utrzymano podział wód na trzy klasy czystości oraz wartości dopuszczalne zanieczyszczeń. Rozporządzenia te nadal nie określały sposobu prowadzenia badań. Wody, w których choćby jeden wskaźnik przekraczał dopuszczalne wartości dla III klasy czystości, traktowało się jako pozaklasowe, nieodpowiadające normom.

W dniu 5 listopada 1991 roku opublikowano rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód i ziemi. Nadal obowiązywał w nim podział na trzy klasy czystości wód oraz tzw. wody pozaklasowe. Klasyfikację wód przeprowadzano na podstawie 3 wskaźników biologicznych, 4 tlenowych oraz 50 fizykochemicznych. W grupie wskaźników biologicznych pozostały: saprobowość, miano coli typu kałowego i bakterie chorobotwórcze, usunięto natomiast próbę biologiczną z rybami. Wody, w których choć jeden wskaźnik zanieczyszczenia przekraczał dopuszczalne wartości dla danej klasy czystości wody, były klasyfikowane klasę niżej.

W odróżnieniu od poprzednich rozporządzeń jakość wody oceniana była na podstawie wszystkich badanych wskaźników niezależnie od celu, któremu woda miała służyć. Często więc jeden wskaźnik przekraczający normy, nawet mniej istotny z punktu widzenia przydatności wód, decydował o ich pozaklasowym charakterze. Przepisy dotyczące klasyfikacji wód nie zawierały żadnych ustaleń dotyczących procedur monitoringu określających miejsce i częstotliwość poboru prób wody, referencyjnych metod analiz ani sposobu oceny wyników.

Z chwilą akcesji Polski w 2004 roku do Unii Europejskiej (UE) konieczne było dostosowanie krajowego systemu monitoringu i ocen do systemu obowiązującego w UE. Transpozycja Ramowej Dyrektywy Wodnej 2000/60/

WE (RDW) i jej „dyrektyw córek” nastąpiła głównie poprzez ustawę z dnia 18 lipca 2001 roku Prawo wodne (Dz.U. Nr 115, poz. 1229 ze zm.) oraz wydane do niej rozporządzenia.

Pierwszym aktem prawnym implementującym częściowo RDW było rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 roku w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód, wprowadzające klasyfikację wód powierzchniowych w systemie 5-klasowym z uwzględnieniem 52 parametrów.

Kryteria fizykochemiczne obejmowały wskaźniki: fizyczne, tlenowe, biogenne, zasolenie, metale (w tym metale ciężkie), zanieczyszczenia syntetyczne i organiczne. Do wskaźników biologicznych włączono: saprobowość, fitoplankton i peryfiton, makrobezkręgowce bentosowe, chlorofil „a”. Nadal badane były wskaźniki mikrobiologiczne, które obejmowały liczbę bakterii grupy coli oraz bakterii grupy coli typu kałowego.

Rozporządzeniem tym wprowadzono ponadto nowe kryterium oceny opisowej stanu hydromorfologicznego, dla którego określono 3 kategorie: stan bardzo dobry, stan dobry i stan umiarkowany. W odróżnieniu od rozporządzenia z dnia 5 listopada 1991 roku w rozporządzeniu z 2004 roku określone zostały po raz pierwszy metodyki referencyjne badań wskaźników jakości oraz warunki zapewnienia jakości danych, uwzględniające granice oznaczalności, precyzję i dokładność metodyk referencyjnych.

W ramach dalszego wdrażania Dyrektywy Wodnej 2000/60/WE kolejne regulacje wprowadzono poprzez rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 roku w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych. Dla pięciu klas określono wartości graniczne 43 wskaźników fizykochemicznych jakości wody oraz wprowadzono w szerszym zakresie wskaźniki biologiczne, w tym wskaźniki okrzemkowe oraz *Makrofitowy Indeks Rzeczny*, a dla jezior *Makrofitowy Indeks Stanu Ekologicznego*. Wdrożono również klasyfikację stanu chemicznego na podstawie listy 33 substancji priorytetowych dla polityki wodnej UE oraz 9 innych substancji zanieczyszczających – według zmiany RDW w ramach 2006/0129(COD).

Do oceny elementów biologicznych wykorzystywane są wskaźniki jakości, które zgodnie z zapisami RDW (art. 6) podlegają obowiązkowemu ćwiczeniu interkalibracyjnemu, tj. ustaleniu wspólnych granic klas wewnątrz

jednolitych typów interkalibracyjnych. Dlatego stopniowo, po opracowaniu stosownych metod wprowadzano do systemu klasyfikacji stanu czy potencjału ekologicznego nowe wskaźniki biologiczne.

W rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 roku w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych określono normy dla makroglonów i okrytozależkowych oraz makrobezkręgowców bentosowych w wodach przejściowych i przybrzeżnych, jak i wskaźnika dla fitoplanktonu rzecznego.

Sposób oceny stanu ekologicznego został ponownie zmodyfikowany w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 22 października 2014 roku w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych poprzez dodanie dla polskich jezior wskaźnika fitoplanktonowego i rybnego, dla rzek – rybnego oraz multimetrycznego dla makrobezkręgowców bentosowych, i wskaźnika SI dla wód przejściowych.

Konieczność transpozycji do prawa krajowego dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/39/UE z dnia 12 sierpnia 2013 roku zmieniającej dyrektywy 2000/60/WE i 2008/105/WE w zakresie substancji priorytetowych w dziedzinie polityki wodnej (Dz.Urz. UE L 226 z 24.08.2013, s. 1) spowodowała, po niespełna dwóch latach, zmianę rozporządzenia w sprawie klasyfikacji wód z dniem 20 sierpnia 2016 roku. Wynikiem tej zmiany było wprowadzenie konieczności badania dodatkowych 7 substancji priorytetowych w macierzy wodnej oraz 11 substancji w innej macierzy niż woda, tj. w tkankach ryb lub mięczaków. Było to rozporządzenie, które regulowało 121 wskaźników, tj. największą w ciągu wielu lat liczbę wskaźników jakości wód płynących poddawanych ocenie.

Od dnia 1 stycznia 2018 roku, tj. dnia obowiązywania ustawy z dnia 20 lipca 2017 roku Prawo wodne, funkcjonowały nowe delegacje do wydania rozporządzeń w zakresie sposobu wykonywania monitoringu wód i sposobu ich oceny. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 roku w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych, które weszło w życie 8 listopada

2019 roku, poza wprowadzeniem typologii oraz definicji klasyfikacji stanu i potencjału ekologicznego (rezultat połączenia dwóch delegacji ustawowych), określiło również ilościowy sposób oceny elementów hydromorfologicznych z wykorzystaniem *Hydromorfologicznego Indeksu Rzecznego* (HIR) oraz dla jezior *Lake Habitat Modification Score* (LHMS_PL), a dla zalewów przymorskich *Makrofitowy Indeks Stanu Ekologicznego* (ESMI_Z).

Wartości graniczne klas jakości stanu ekologicznego elementów fizykochemicznych zostały dostosowane do ich biologicznego znaczenia we wszystkich typach wód rzecznych, jeziornych, przejściowych i przybrzeżnych w oparciu o obiektywne metody statystyczne, rekomendowane przez Grupę roboczą Komisji Europejskiej ECOSTAT. Na tym etapie w 2019 roku doprowadzono do pełnej zgodności systemu ocen stanu wód w Polsce z wymaganiami Ramowej Dyrektywy Wodnej.

Wszystkie metody oceny stanu/potencjału ekologicznego dla elementów biologicznych przeszły pozytywnie paneuropejskie ćwiczenie interkalibracyjne, które w zapisach dyrektywy planowano na 18 miesięcy, a Europie i Polsce zajęło to 18 lat!

Obecnie obowiązujące w systemie jakości wód wartości graniczne zawarte są w załącznikach do rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 roku w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych. Rozporządzenie to wprowadziło nową typologię wód i dostosowaną do niej klasyfikację wskaźników biologicznych i fizykochemicznych. W przypadku wskaźników fizykochemicznych oraz substancji syntetycznych i niesyntetycznych uległa znacznej redukcji ich liczba w celu uniknięcia redundancji lub z powodu ich zbyt dużej zmienności naturalnej albo braku zagrożenia zanieczyszczeniem.

Z liczby 120 wskaźników, ocenianych według rozporządzenia z 2019 roku, podlegających ocenie od 2021 roku jest ich 90. Większość zredukowanych wskaźników nadal podlega regularnemu badaniu, jednak z uwagi na wyżej wspomnianą redundancję została wyłączona z oceny.

Zmiany systemów prawnych ocen stanu jakości wód w ciągu lat wskazują m.in., co następuje:

- w okresie 1970–2021 opublikowano kolejno 11 rozporządzeń określających normy jakości wód, przy czym rozporządzenia wydane w okresie 1970–1991 określały normy dla około 50 wskaźników, w podziale na trzy klasy czystości wód,
- aktem prawnym implementującym, jednak tylko częściowo, Ramową Dyrektywę Wodną (RDW) było rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 roku określające klasyfikacje wód powierzchniowych, zgodnie z RDW, w podziale na pięć klas, w tym wskazujące metodyki referencyjne badań wskaźników oraz warunki zapewnienia jakości danych (granice oznaczalności, precyzję i dokładność metodyk referencyjnych),
- w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 roku określono wartości graniczne dla 43 wskaźników fizykochemicznych jakości wody oraz wprowadzono w szerszym zakresie wskaźniki biologiczne, przy czym wdrożono również klasyfikację stanu chemicznego na podstawie listy 33 substancji priorytetowych dla polityki wodnej UE oraz 9 innych substancji zanieczyszczających według zmiany Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW) w ramach unijnego aktu 2006/0129(COD); tym samym liczba ocenianych wskaźników wzrosła o 43%,
- transpozycja do prawa krajowego dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/39/UE z dnia 12 sierpnia 2013 roku zmieniającej dyrektywy 2000/60/WE i 2008/105/WE w zakresie substancji priorytetowych rozszerzyła monitoring wód o badanie substancji w nowych matrycach: tkankach ryb i mięczaków.

Rozwój krajowego monitoringu jakości wód i systemów informatycznych

Koncepcja monitoringu jakości wszystkich rodzajów wód w Polsce została opracowana w 1988 roku, na podstawie prac zrealizowanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) oraz Instytut Ochrony Środowiska (IOŚ), przez powołany w IMGW zespół (Zieliński i Gromiec, 1989). Koncepcja ta obejmowała monitoring wód powierzchniowych płynących, monitoring jezior, monitoring wód podziemnych i monitoring oceaniczny.

Raport ekspertów Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (US EPA), wykonany w ramach porozumienia zawartego między US EPA a Ministerstwem Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych (MOŚiZN), ocenił pozytywnie powyższą koncepcję, podkreślając konieczność zorganizowania monitoringu jakości wody w układzie zlewniowym, a nie administracyjnym, w granicach województw (Kinney i McKee, 1989). Postulowano również wdrożenie sieci monitoringu biologicznego, związanego ściśle z sieciami monitoringu fizykochemicznego w zlewniach rzek. Niestety, tylko nieliczne postulaty amerykańskie zostały wówczas wprowadzone w życie.

Monitoring jakości wód rzek prowadzony był początkowo przez Ośrodek Monitoringu Jakości Wód IMGW, we współpracy z Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska (GIOŚ), do chwili organizacji Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ), na podstawie ustawy z 1991 roku o Inspekcji Ochrony Środowiska (IOŚ). W tym monitoringu uczestniczyły zespoły badawczo-pomiarowe IMGW oraz zespoły wojewódzkich inspektoratów ochrony środowiska (WIOŚ).

Wdrażanie postępu naukowo-technicznego do praktyki podsystemu monitoringu wód PMŚ w Polsce następowało stopniowo. Od końca 2000 roku związane było głównie z wdrażaniem postanowień Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW). Problemy wdrożenia postanowień tej dyrektywy i możliwości ich rozwiązania w kraju zostały przedstawione w ekspertyzie z 2001 roku, wykonanej dla GIOŚ (Gromiec, 2001).

IMGW uczestniczył w: identyfikacji znaczących presji i oddziaływań na obszarze dorzeczy Wisły i Odry, we wdrożeniu monitoringu na obszarze dorzeczy i w wodach przejściowych i przybrzeżnych Bałtyku. Wdrożono m.in. system sieci kontrolno-pomiarowej i reperowej, w tym na wodach granicznych i w ujściach głównych rzek do Bałtyku. Osiągnięciem było opracowanie katalogu, obejmującego: rzeki, wody przejściowe, wody przybrzeżne, jeziora, wody podziemne. Współpraca międzynarodowa ze strony IMGW, w zakresie monitoringu wód, obejmowała prace dla Europejskiej Agencji Środowiska (EEA). W Unii Europejskiej, pod kierunkiem EEA, rozpoczęto na początku XXI wieku prace nad rozwojem monitoringu stanu wód, mające na celu opracowanie wytycznych m.in. w zakresie:

- projektowania monitoringu,
- kryteriów identyfikacji znaczących odbiorników zlewni,

- wyboru miejsc pomiarowych,
- integracji krajowych sieci monitoringu i integracji narodowych sieci na poziomie unijnym,
- procedur monitoringu dla różnego rodzaju wód zgodnych z RDW.

Prace powyższe dotyczyły również:

- opracowania kryteriów oceny stanu jakości wód dla każdego rodzaju wód w zakresie stanu chemicznego, stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego oraz stanu ilościowego, jak również zarządzania danymi w zakresie jakości danych,
- interkalibracji, przedstawiania danych i ich transmisji.

Rozwój krajowego monitoringu jakości wód związany był z rozwojem systemów informatycznych. W pracach nad rozwojem monitoringu szczególną uwagę zwrócono bowiem na praktyczne zastosowanie *Geograficznych Systemów Informatycznych* (GIS) do prezentowania sieci monitoringowych i wyników ocen stanu wód w postaci map.

Prace badawczo-rozwojowe nad metodami oceny stanu wód i koncepcjami *systemów informacji przestrzennej* prowadzono m.in. w Zakładzie Ochrony Wód IMGW w Warszawie. W latach 2003–2004 wykonano ocenę ogólnych trendów jakości wód płynących w okresie 1990–2002, analizując zmienność ładunków wskaźników zanieczyszczeń, odprowadzanych z obszaru kraju do Bałtyku (Gromiec, 2005). Analizę zmian jakości wody w wybranych zbiornikach wodnych, zachodzącą w latach 1999–2003, przeprowadzono w 2004 roku [Gromiec i Dojlido (red.), 2006]. Prace badawczo-wdrożeniowe nad praktycznym zastosowaniem GIS prowadzono wykorzystując współpracę międzynarodową, a przykłady tych zastosowań podano poniżej. GIS zintegrowany z modelowaniem matematycznym został zastosowany do kontroli zanieczyszczeń obszarowych w wybranych polskich zlewniach, we współpracy z Danią [Gromiec i Jansen (Eds.), 2005].

Rozpoczęto również wykorzystanie GIS i teledetekcji do analizy zmian na terenach zurbanizowanych; zastosowanie GIS do wizualizacji i analizy danych wejściowych oraz wyników modelowania matematycznego jakości wód, a także stworzenia mapy komputerowej podziału hydrograficznego Polski, która stanowiłaby podstawę przy pracach nad planami wodnymi w zlewniach [Gromiec (red.), 2006a]. Zastosowano też Systemy Wspomagania

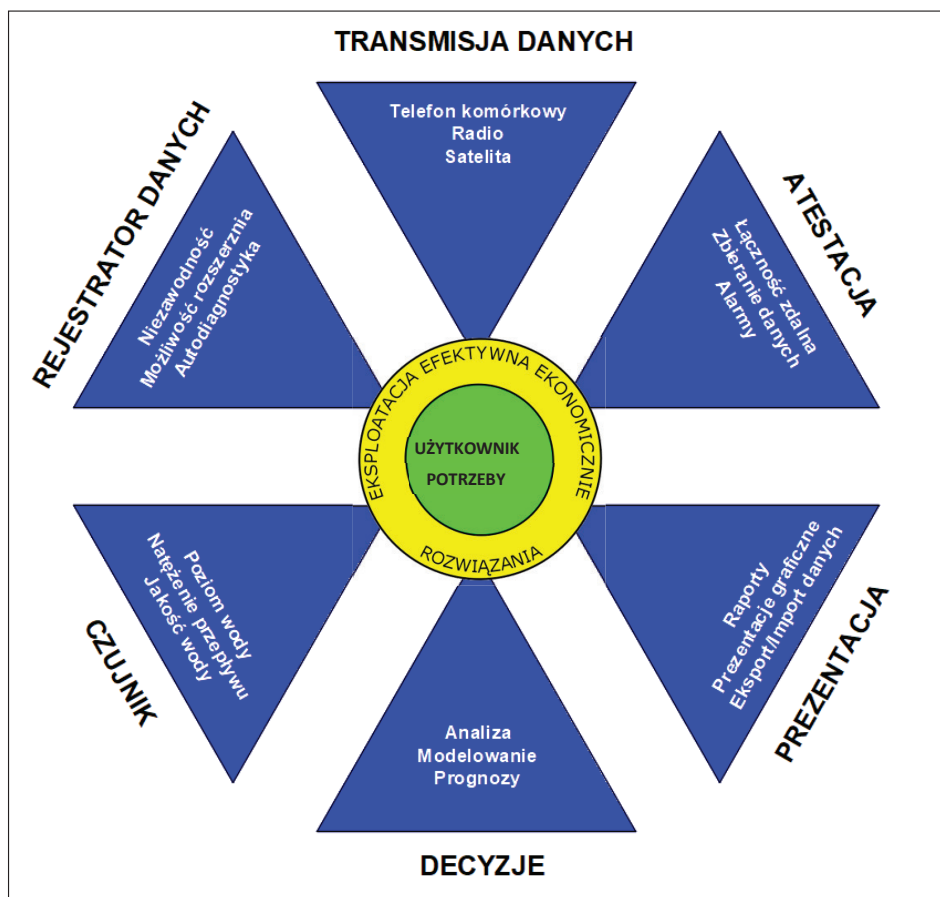
Decyzji (SWD) [Gromiec (red.), 2006b], przykładowo w zlewniach rzek Radomki i Narwi.

Opracowano również system pilotowy automatycznego monitoringu w zlewni Bugu, Narwi i na Jeziorze Zegrzyńskim, instalując stacje pomiarowe jakości wody, budując system łączności i tworząc centrum komputerowe [Gromiec i Nielsen (Eds.), 2006]. System ten został zastosowany w praktyce do monitoringu ujęć wody dla Warszawy. Do gromadzenia i przetwarzania danych pilotowego systemu zastosowano Zintegrowany System Monitoringu i DIMS (ang. Dynamic Integrated Monitoring System) – system bazy danych klient/serwer pracujący w środowisku Windows na Serwerze Microsoft SQL. Projekt zrealizowany we współpracy z Duńskim Instytutem Woda i Środowisko oraz Miejskim Przedsiębiorstwem Wodociągów i Kanalizacji w m.st. Warszawie S.A. wskazał na rolę czujników pomiarowych jako elementów technicznych (rys. 1) systemów ostrzegawczych dla ujęć wód (Gutowska-Siwiec i Gromiec, 2007).

Tworzono też podstawy zintegrowanych systemów informacyjnych w gospodarce wodnej. W IMGW, w Zakładzie Gospodarki Wodnej w Warszawie opracowano, we współpracy z Zakładem Chemii i Biologii Wody oraz Zakładem Geotechniki, kompleksowy system informacyjny rzeki Świder bazujący na GIS i model jakości wód [Gromiec, Dojlido i Kloze (red.), 2006].

Integrowano przy tym różne narzędzia analityczne, czego przykładem są modele trójwymiarowe przepływu i transportu zanieczyszczeń chemicznych w wodach podziemnych, zintegrowane z GIS oraz z oprogramowaniem wspomagającym projektowanie (CADD), które zastosowano w praktyce do analizy wpływu składowisk i wysypisk odpadów komunalnych na jakość wód [Gromiec (red.), 2007]. Stworzono systemy dotyczące komunalnych oczyszczalni ścieków oraz informacji przestrzennej i jakości wód w zlewniach rzek [Gromiec (red.), 2008], jak też modele dla zanieczyszczeń obszarowych pochodzenia komunalnego (Gromiec, 2008).

Wyspecjalizowanie się Zakładu Gospodarki Wodnej w Warszawie (IMGW) w modelowaniu i ocenie jakości wody w zlewniach rzek było ściśle związane z wieloletnią współpracą z US EPA, szczególnie z Centrum Modelowania w Laboratorium Badań Środowiskowych Urzędu Badań i Rozwoju w Athens, Georgia, USA oraz wspólnie wykonanymi innowacyjnymi projektami z modelowania jakości wód. Współpraca ta umożliwiła zakup



Rysunek 1. Elementy techniczne systemu ostrzegawczego dla ujęcia wody (Gromiec, 2005)

zaawansowanego sprzętu komputerowego (stacja Risk IBM) i specjalistycznego oprogramowania (w tym ARCINFO GIS) oraz wyszkolenie personelu w USA, co sprzyjało realizacji międzynarodowych projektów o charakterze komercyjnym.

Przykładem tego było wygranie w Wiedniu międzynarodowego otwartego konkursu ogłoszonego przez Japoński Funduszu Specjalny na opracowanie projektu pt. „Master Plan Odnowy Rzeki Utraty” i jego realizacja z firmami: CH2M HILL International (USA/Wielka Brytania) i UNICO Environmental Services Ltd. (Japonia).

W projekcie tym opracowano System Informacji Geograficznej (GIS) zlewni rzeki Utraty stosując ARCINFO, a do wizualizacji danych przestrzennych oprogramowanie ArcView, jak też przeprowadzono symulację komputerową stanu jakości wód oraz prognozowanie skutków zastosowania różnych technologii oczyszczania ścieków. Praca, na wniosek Wojewody Mazowieckiego, uzyskała nagrodę Ministra Środowiska. Podsumowanie powyższej działalności, w dziedzinie modelowania wód, stanowi praca z zastosowania modeli matematycznych i systemów informacyjnych w ochronie wód przed zanieczyszczeniem w zlewniach rzek (Gromiec, 2011).

Zakres monitoringu stanu wód według RDW w nowelizowanych ustawach

Ramową Dyrektywę Wodną (RDW), która ustanowiła ramy dla działalności Wspólnoty w dziedzinie polityki wodnej, opublikowano w dniu 22 grudnia 2000 roku. Wywarła ona znaczny wpływ na monitoring stanu wód (Gromiec, 2002). Od czasu ukazania się RDW w państwach członkowskich następuje ciągły postęp w rozwoju monitoringu stanu wód w dorzeczach, jak i jego elementów technicznych. W kraju postęp ten – szczególnie w zakresie elementów technicznych monitoringu wód – następuje stosunkowo wolniej niż w innych unijnych państwach członkowskich z uwagi na brak zapewnienia stałego źródła finansowania PMS. Należy dodać, że stosunkowo niedawno nastąpiło przejście monitoringu stanu wód z układu wojewódzkiego na układ w regionach wodnych, co jest zgodne z RDW i przyczynia się do dalszego rozwoju tego monitoringu.

Znaczenie monitoringu wód wynika z konieczności śledzenia w sposób *systematyczny* zmian w stanie wód i wykorzystania uzyskanych informacji do opracowywania programów działań niezbędnych do osiągnięcia celów środowiskowych ustanowionych dla ilości i jakości zasobów wodnych. W szczególności monitoring wód powinien być wykorzystywany przy opracowywaniu planów gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy oraz programów działań w tych dorzeczach, a co nie mniej ważne – do *sprawdzania skuteczności podjętych działań*. W celu realizacji powyższego powinny być ustanowione programy monitoringu stanu wód, które umożliwiają spójną i kompleksową ocenę tego stanu w każdym ustanowionym regionie wodnym.

W przypadku wskazania przez dane monitoringu stanu wód, że ustalone cele środowiskowe nie zostaną osiągnięte, konieczne jest wykonanie następujących zadań: zbadanie przyczyn niepowodzenia, dostosowanie programów monitoringu stanu wód do zaistniałej sytuacji, ustanowienie dodatkowych działań, w tym przyjęcie ostrzejszych standardów jakości środowiska tam, gdzie to stosowne. Możliwe jest również uwzględnienie wyjątkowych okoliczności, które uniemożliwiły osiągnięcie celów środowiskowych, a mianowicie przyczyn naturalnych i sił wyższych, do których zaliczono w szczególności powodzie i długie okresy występowania suszy.

Poniżej podano ogólny zarys programów monitoringowych dla wód powierzchniowych i podziemnych oraz obszarów chronionych. W przypadku wód powierzchniowych obejmuje on objętość wód i natężenie przepływu, w zakresie stosowanym dla oceny stanu ekologicznego i chemicznego oraz potencjału ekologicznego. Dla wód podziemnych obejmuje on stan ilościowy i stan chemiczny.

RDW wprowadziła nowe wymagania dla monitoringu stanu wód, powodując konieczność inwentaryzacji odbiorników wodnych, oceny ich stanu chemicznego i biologicznego oraz analizy wpływu zanieczyszczeń na jakość wód. Istnieją trzy rodzaje programów monitoringu wód powierzchniowych i wód podziemnych:

- **monitoring diagnostyczny** dla oceny długoterminowych zmian w warunkach naturalnych oraz zmian wynikających z działalności antropogenicznej,
- **monitoring operacyjny** dla określenia stanów wód zasobów wodnych zagrożonych niespełnieniem wymaganych celów ekologicznych i zmian stanów wód wynikających z programów działań,
- **monitoring badawczy** dla określenia przyczyn występujących problemów w spełnieniu celów środowiskowych lub dla określenia wielkości i oddziaływania zanieczyszczeń przypadkowych.

Równocześnie określono najważniejsze zanieczyszczenia odprowadzane do środowiska wodnego, nadając priorytetowe znaczenie zanieczyszczeniom o charakterze toksycznym, następnie – zanieczyszczeniom przyczyniającym się do eutrofizacji wód, a na końcu zanieczyszczeniom mającym wpływ na bilans tlenowy zasobów wodnych.

Według nowego prawa o Inspekcji Ochrony Środowiska (Dz.U. 2018, poz. 1472), w ramach PMŚ gromadzone są dane i informacje, uzyskane na podstawie badań monitoringowych o stanie: wód podziemnych i wód powierzchniowych wraz z osadami dennymi, wód przejściowych, a także wód morza terytorialnego, wód wyłącznej strefy ekonomicznej Rzeczypospolitej Polskiej i wód przybrzeżnych, w tym dna i skały macierzystej znajdujących się na obszarze tych wód.

W GIOŚ działa Centralne Laboratorium Badawcze, które z dniem wejścia ustawy przejęło laboratoria i zadania wojewódzkich inspektoratów ochrony środowiska. Według nowych przepisów o IOŚ, może też być utworzone krajowe laboratorium referencyjne ds. spraw jakości wód powierzchniowych. Do zadań laboratorium referencyjnego ds. jakości wód należy zapewnienie nadzoru nad jakością badań i analiz w zakresie wód powierzchniowych, wykonywanych przez centralne laboratorium oraz inne podmioty prowadzące badania monitoringowe.

Z kolei właściciele ujęć wody prowadzą badania i ocenę wód powierzchniowych przeznaczonych do poboru wód na potrzeby zaopatrzenia w wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi i według nowego prawa wodnego przekazują ich wyniki nieodpłatnie: Państwowemu Gospodarstwu Wodnemu Wody Polskie, Inspekcji Ochrony Środowiska i Państwowej Inspekcji Sanitarnej (PIS).

Państwowa Inspekcja Sanitarna sprawuje nadzór nad jakością wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, wymagania wobec której określa stosowne rozporządzenie Ministra Zdrowia. Badania wykonują laboratoria PIS i inne laboratoria o udokumentowanym systemie jakości, jak i producenci wody w ramach kontroli wewnętrznej. Zakres badań obejmuje badania mikrobiologiczne, fizykochemiczne, organoleptyczne oraz promieniotwórczości w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Organy PIS sprawują dodatkowo nadzór sanitarny nad wodami wykorzystywanymi do kąpieli, tj. wodą na pływalniach oraz w kąpieliskach i miejscach wykorzystywanych do kąpieli.

Głównym źródłem zaopatrzenia ludności w wodę do picia stanowią wody podziemne, a monitoring oceniający stan chemiczny i zmiany tego stanu prowadzony jest przez Państwowy Instytut Geologiczny (PIG-PIB). Dane z monitoringu diagnostycznego i operacyjnego wód podziemnych gromadzone są w bazie Monitoringu Wód Podziemnych (MWP) na zlecenie GIOŚ w ramach PMŚ.

Zatwierdzenie przez parlament RP w 2018 roku nowej ustawy o IOŚ w zasadzie spowodowało przejście monitoringu stanu wód z układu wojewódzkiego na układ regionów wodnych i tym samym, po czterdziestu latach, spełnił się postulat ekspertów amerykańskich w tym względzie. Po ocenie wyników stanu krajowych wód powierzchniowych, wykonanej przez GIOŚ za okres 2011–2016, Główny Inspektor Ochrony stwierdził w 2019 roku co następuje: *zła klasyfikacja elementów fizykochemicznych może ostrzegać, że stan elementów biologicznych może się wkrótce pogorszyć* (Ciećko i Panek, 2019).

Wraz z rozwojem cywilizacji powstają zagrożenia spowodowane nowymi formami zanieczyszczeń chemicznych (w tym o charakterze mutagennym, teratogennym, embriotoksycznym i genotoksycznym), jak też zagrożenia związane z mikroorganizmami chorobotwórczymi, szczególnie nowymi bakteriami i wirusami o wysokiej patogenności. Stwarza to konieczność rozszerzania zakresu monitoringu i umożliwia wprowadzenie nowych zastosowań monitoringu.

Unijnemu prawodawstwu dotyczącemu wody przyświeca nadrzędny cel, jakim jest ochrona zdrowia ludzkiego i środowiska przed połączonymi skutkami toksycznych lub trwałych zanieczyszczeń. Pod koniec 2022 roku została opublikowana inicjatywa Komisji Europejskiej dotycząca zmiany dyrektywy 2000/60/WE (RDW) oraz powiązanych z nią dwóch dyrektyw szczegółowych: dyrektywy 2006/118/WE (dyrektywa w sprawie wód podziemnych) i dyrektywy 2008/105/WE (dyrektywa w sprawie środowiskowych norm jakości), które wspólnie koncentrują się na ochronie wód podziemnych i powierzchniowych. Uzupełniają one inne istotne przepisy prawodawstwa dotyczącego wody, tj. dyrektywę UE 2020/2184 (dyrektywa w sprawie wody pitnej), dyrektywę Rady 91/271/EWG (dyrektywa dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych), dyrektywę 2008/56/WE (dyrektywa ramowa w sprawie strategii morskiej), dyrektywę 2006/7/WE (dyrektywa dotycząca jakości wody w kąpieliskach), dyrektywę 2007/60/WE (dyrektywa powodziowa) oraz dyrektywę Rady 91/676/EWG (dyrektywa azotanowa).

Potrzeba aktualizacji wykazów substancji podlegających monitorowaniu została potwierdzona w ramach oceny adekwatności tzw. *fitness check* z 2019 roku, w której stwierdzono również, że inne ulepszenia przepisów zwiększyłyby ich skuteczność, efektywność i spójność.

Biorąc pod uwagę nadrzędny cel polityki wodnej UE, inicjatywa Komisji Europejskiej obejmuje następujące cele ogólne:

1. zwiększenie ochrony obywateli Unii i ekosystemów naturalnych zgodnie z unijną strategią na rzecz bioróżnorodności 2030 i planem działania UE na rzecz eliminacji zanieczyszczeń, które uwzględniono w Europejskim Zielonym Ładzie;
2. zwiększenie skuteczności i zmniejszenie obciążeń administracyjnych wynikających z prawodawstwa, umożliwienie UE szybszego reagowania na pojawiające się zagrożenia,

oraz cele szczegółowe:

1. aktualizację wykazów zanieczyszczeń mających wpływ na wody powierzchniowe i podziemne, polegającą na dodawaniu i usuwaniu substancji oraz aktualizacji obowiązujących norm jakości;
2. poprawę monitorowania mieszanin chemicznych, aby lepiej ocenić łączne efekty oraz uwzględnić sezonowe zmiany stężeń substancji zanieczyszczających;
3. ujednolicenie, w stosownych przypadkach, sposobu eliminowania substancji zanieczyszczających w wodach powierzchniowych i podziemnych w całej UE;
4. zapewnienie możliwości szybszego dostosowania ram prawnych do wyników badań naukowych, aby można było sprawniej reagować na nowo pojawiające się zanieczyszczenia;
5. poprawę dostępu do danych, ich przejrzystości i ponownego wykorzystania, aby zwiększyć zgodność, zmniejszyć obciążenie administracyjne i poprawić spójność z szerszymi ramami prawnymi UE dotyczącymi chemikaliów.

Ostatecznym celem inicjatywy jest ustanowienie nowych norm środowiskowych w odniesieniu do szeregu substancji chemicznych potencjalnie niebezpiecznych, aby przeciwdziałać chemicznemu zanieczyszczeniu wód, ułatwić egzekwowanie przepisów w oparciu o uproszczone i bardziej spójne ramy prawne, zapewnić dynamiczne i aktualne informacje na temat stanu wód – w czym pomaga Europejska Agencja Środowiska (EEA). Polegałoby to na szerokim zaangażowaniu zainteresowanych stron, jak również na rzetelnym wsparciu naukowym ze strony Europejskiej Agencji Chemikaliów (ECHA), w celu zapewnienia maksymalnej synergii i spójności przepisów Unii dotyczących substancji chemicznych.

Inicjatywa Komisji Europejskiej w zakresie zmian RDW i jej „dyrektyw córek” podlega obecnie negocjacjom w ramach trójkąta: Rada Europejska, Parlament Europejski i Komisja Europejska. Ostateczny wynik tych negocjacji będzie miał znaczący wpływ na rozwój monitoringu wód.

Ocena jakości wód powierzchniowych

Zasady klasyfikacji stanu tzw. *jednolitych części wód powierzchniowych (jcwp)* podano zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 roku. Ocenę stanu wód powierzchniowych w Polsce wykonuje się w odniesieniu do *jcwp* na podstawie wyników Państwowego Monitoringu Środowiska (PMS). Na tę ocenę składa się ocena stanu ekologicznego (w przypadku silnie zmienionych *jcwp* – ocena potencjału ekologicznego) oraz ocena stanu chemicznego. Stan ekologiczny/potencjał ekologiczny to określenie jakości struktury i funkcjonowania ekosystemu wód powierzchniowych sklasyfikowanych na podstawie wyników badań elementów biologicznych oraz wspierających je wskaźników fizykochemicznych i hydromorfologicznych.

Stan ekologiczny *jcwp* klasyfikuje się poprzez nadanie jednolitej części wód jednej z pięciu klas jakości, przy czym klasa pierwsza oznacza bardzo dobry stan ekologiczny, klasa druga – dobry stan ekologiczny, a klasy trzecia, czwarta i piąta odpowiednio – stan ekologiczny umiarkowany, słaby i zły. W przypadku potencjału ekologicznego klasy pierwsza i druga tworzą wspólnie potencjał „dobry i powyżej dobrego”. O przypisaniu ocenianej klasy *jcwp* decydują wyniki klasyfikacji poszczególnych elementów biologicznych (rys. 2). Obowiązuje przy tym zasada, że klasa stanu/potencjału ekologicznego odpowiada klasie najgorszego elementu biologicznego.

Klasyfikacja stanu ekologicznego wód powierzchniowych według RDW (załącznik V, pkt 1.4.2) jest reprezentowana poprzez niższą z wartości otrzymanych z monitorowania biologicznego i fizykochemicznego dla właściwych elementów jakości, a dla silnie zmienionych oraz sztucznych części wód, klasyfikacja stanu ekologicznego części wód jest reprezentowana przez niższą z wartości otrzymanych z monitorowania wartości biologicznych i fizykochemicznych dla właściwych elementów jakości. Powyższe podejście otrzymało nazwę zasady *najgorszy decyduje* (ang. „one-out-all-out” – OOAo)

i opiera się na założeniu, że najgorszy stan elementu zastosowanego w ocenie wpływa na stan całego ekosystemu. Najprostsza interpretacja tej zasady może wskazywać, że o klasyfikacji stanu ekologicznego *jcwp* decyduje najgorszy wskaźnik, spośród wszystkich monitorowanych w grupie elementów biologicznych lub fizykochemicznych. Taka interpretacja stosowana jest w ocenie wód w Polsce.

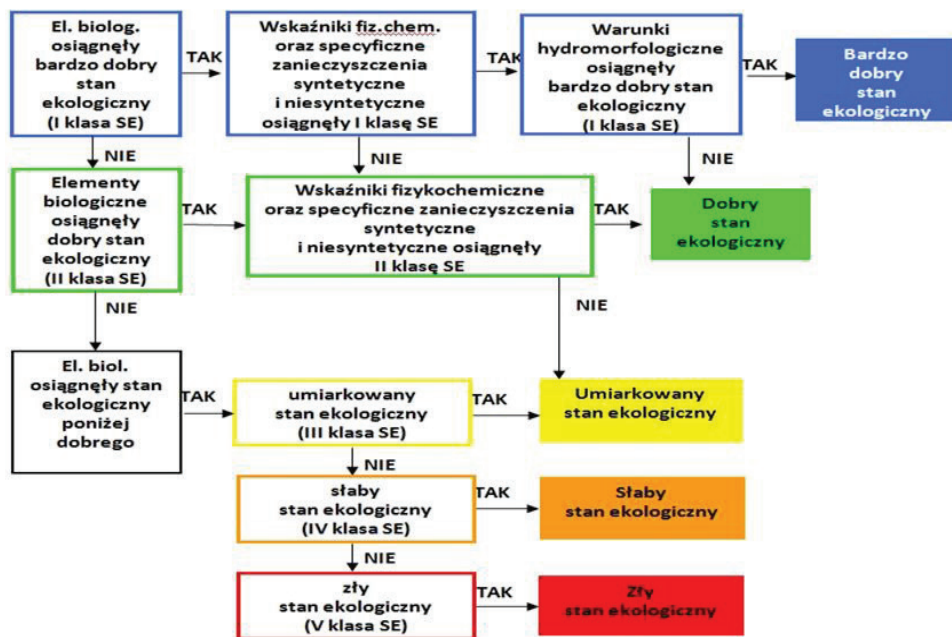
Klasyfikacji stanu chemicznego jcwp dokonuje się na podstawie analizy wyników pomiarów zanieczyszczeń chemicznych, w tym substancji priorytetowych. Podstawą analizy jest porównanie uzyskanych wyników ze środowiskowymi normami jakości. Przyjmuje się, że dana *jcwp* jest w dobrym stanie chemicznym, jeżeli żadna z obliczonych wartości stężeń nie przekracza dopuszczalnych stężeń maksymalnych i średniorocznych. Jeżeli jakość wody nie spełnia tych wymagań, to stan chemiczny ocenianej *jcwp* określa się jako „poniżej dobrego”. Stan jednolitej części wód ocenia się poprzez porównanie wyników klasyfikacji stanu/potencjału ekologicznego i stanu chemicznego.

Jednolita część wód może być oceniona jako będąca w „dobrym stanie”, jeśli jednocześnie jej stan/potencjał ekologiczny jest sklasyfikowany przynajmniej jako „dobry”, a stan chemiczny sklasyfikowany jest jako „dobry”. W pozostałych przypadkach, tj. gdy stan chemiczny jest sklasyfikowany jako „poniżej dobrego” lub stan/potencjał ekologiczny sklasyfikowano jako „umiarkowany”, „słaby”, bądź „zły”, jednolitą część wód ocenia się jako będącą w złym stanie (tab. 1).

W procedurze oceny stanu *jcwp* wykorzystuje się dane pozyskane w trakcie realizacji różnych rodzajów monitoringu. Okres ważności danych uzależniony jest od charakterystyki *jcwp* i dostosowanego do niej programu monitoringu.

Ocena *jcwp* wykonana na podstawie danych pozyskanych w ramach monitoringu diagnostycznego jest ważna 6 lat. Ocena *jcwp* wykorzystująca dane pozyskane w ramach monitoringu operacyjnego jest ważna 3 lata. Klasyfikacja stanu lub potencjału ekologicznego wód rzek i zbiorników zaporowych opracowana przez Inspekcję Ochrony Środowiska na podstawie danych monitoringowych z lat 2016–2021, z zastosowaniem zasady dziedziczenia, dostępna jest publicznie na Portalu jakości wód powierzchniowych.

Główny Inspektorat Ochrony Środowiska opublikował w 2022 roku ocenę stanu wód, w ramach ogólnej oceny stanu środowiska Polski (Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2022).



Rysunek 2. System klasyfikacji stanu wód na podstawie (Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, 2022)

Tabela 1. Zasady klasyfikacji stanu jednolitej części wód powierzchniowych

Ocena stanu <i>jcwp</i>		Stan chemiczny	
		dobry	poniżej dobrego
stan ekologiczny/ /potencjał ekologiczny	bardzo dobry/maksymalny	dobry stan wód	zły stan wód
	dobry	dobry stan wód	zły stan wód
	umiarkowany	zły stan wód	zły stan wód
	słaby	zły stan wód	zły stan wód
	zły	zły stan wód	zły stan wód

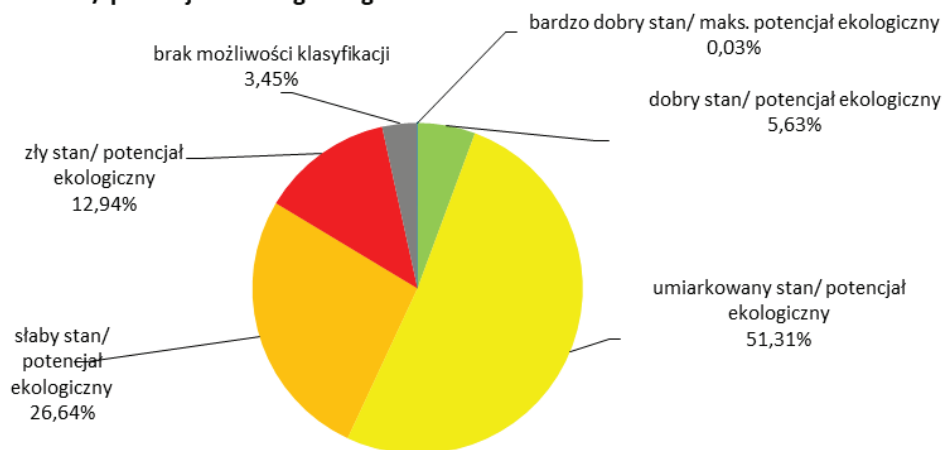
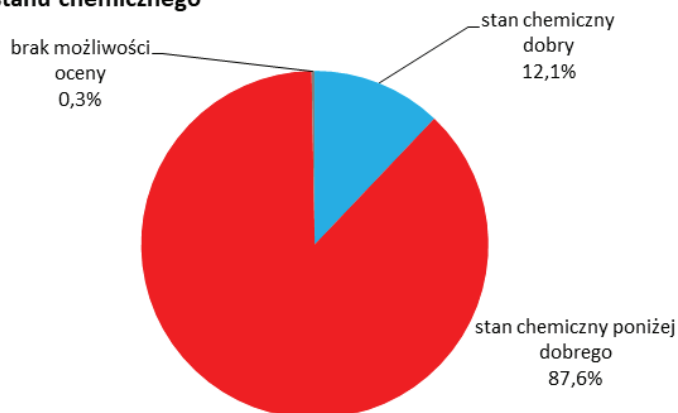
W ujęciu krajowym wśród ocenionych naturalnych *jcwp* tylko 0,04% osiągnęło stan bardzo dobry, a 5,06% dobry stan ekologiczny. Wśród sztucznych i silnie zmienionych *jcwp* potencjał dobry osiągnęło 7,1% ocenionych *jcwp*, brakuje *jcwp* z maksymalnym potencjałem. Wśród ocenionych zarówno naturalnych, jak i sztucznych oraz silnie zmienionych (rys. 3) tylko 1 *jcwp* osiągnęła bardzo dobry stan ekologiczny (0,03%), dobry stan/potencjał ekologiczny osiągnęło 207 *jcwp* (5,6%), umiarkowany stan/potencjał ekologiczny osiągnęło 1887 *jcwp* (51,3%), natomiast w stanie/potencjale słabym i złym pozostaje 1456 *jcwp* (39,6%) (Marciniewicz-Mykieta, 2024a).

Większość *jcwp* rzecznych w cyklu 2016–2021 sklasyfikowano w trzeciej klasie jakości, czyli o umiarkowanym stanie lub potencjale ekologicznym. Z reguły ta klasa wynika z umiarkowanego stanu elementów biologicznych. Bardzo dobry stan ekologiczny lub maksymalny potencjał ekologiczny samych elementów biologicznych uzyskało jedynie 179 *jcwp*. Z kolei zły, czyli najgorszy w 5-klasowej skali, stan lub potencjał ekologiczny elementów biologicznych stwierdzono w 476 *jcwp*.

Fizykochemiczne wskaźniki eutrofizacji, czyli różne związki azotu i fosforu, przekraczają normy w około 30% *jcwp*. Również w 1/3 *jcwp* rzecznych przekroczona jest norma dla podstawowego wskaźnika zasolenia, jakim jest przewodność elektrolityczna. Wiąże się to z przekroczeniem norm dla chlorków lub siarczanów – dla obu tych anionów normy zostały przekroczone w około 1/4 przypadków.

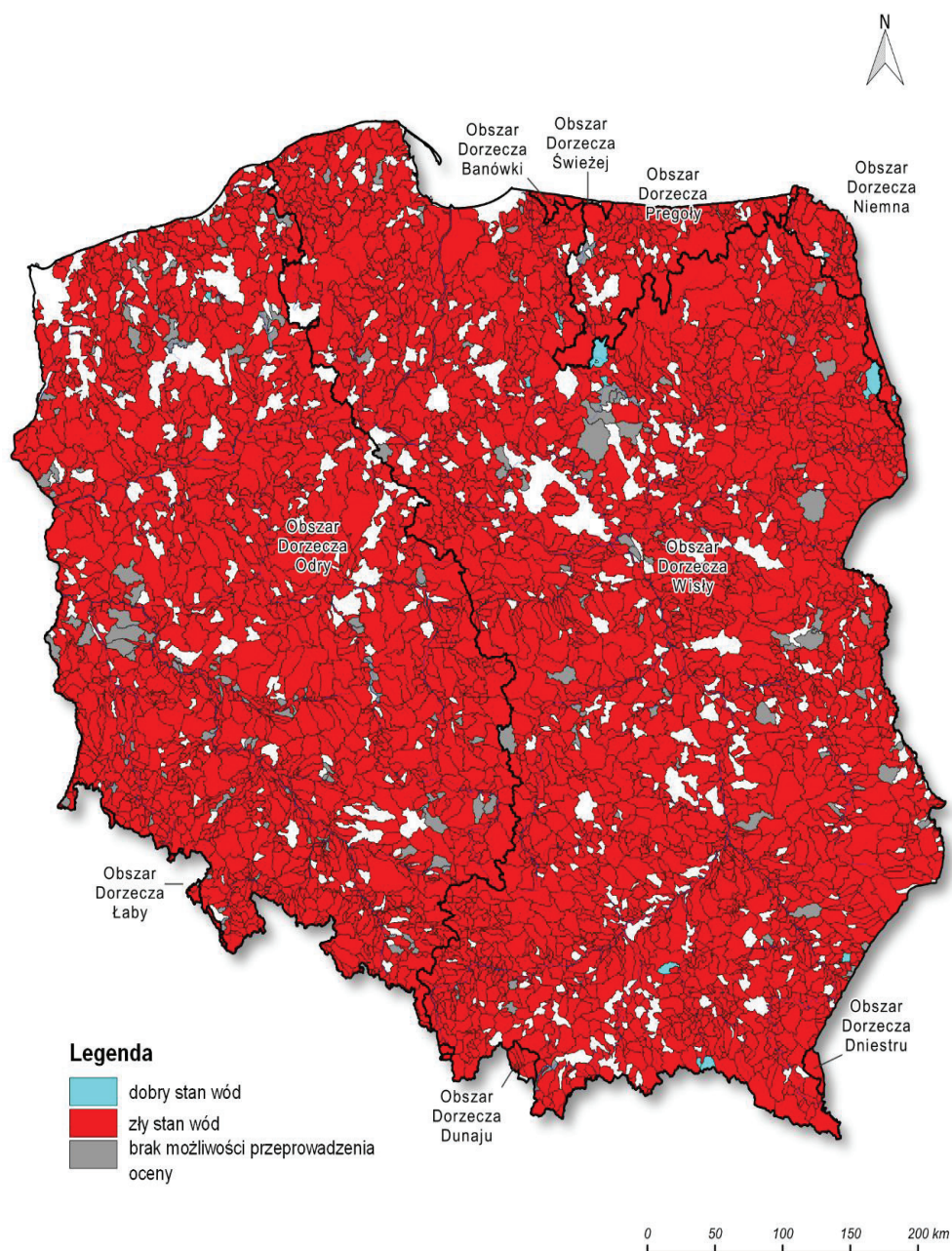
Stan chemiczny wód w okresie 2016–2021 badany był w 2637 *jcwp* (rys. 3), z czego w 319 (12,1%) stwierdzono dobry stan chemiczny, a w 2310 (87,6%) stwierdzono stan poniżej dobrego (w przypadku 0,3% nie można było wykonać klasyfikacji).

Spośród substancji o stężeniach powyżej środowiskowych norm jakości w biocie w przebadanych w tym cyklu *jcwp* należy wymienić: bromowane difenyloetery (pBDE) – 98,1% przekroczeń; rtęć i jej związki – 56,5% przekroczeń; heptachlor i epoksyd heptachloru – 52,9% przekroczeń (procentowe wartości przekroczeń podano dla cieków i jezior łącznie). Stan chemiczny prawie wszystkich badanych rzek jest zły, przy czym zawsze przynajmniej jednym z parametrów o tym decydujących jest zawartość bromowanych difenyloeterów (pBDE) w tkankach ryb.

Ocena stanu / potencjału ekologicznego**Ocena stanu chemicznego**

Rysunek 3. Ocena stanu/potencjału ekologicznego i stanu chemicznego *jpcw* monitorowanych w latach 2016–2021 na podstawie wyników PMŚ (źródło danych: GIOŚ) (Marciniewicz-Mykieta, 2024a)

Oceny ogólnego stanu dokonano dla 3685 *jpcw*, z czego tylko w przypadku 13 (0,4%) stwierdzono stan dobry, natomiast w przypadku 3487 (94,6%) stwierdzono stan zły; dla 185 *jpcw* (5%) nie było możliwości wykonania oceny (rys. 4). Przy wykluczeniu ze statystyk 5% *jpcw* – dla których nie było



Rysunek 4. Ocena stanu *jcwp* rzecznych monitorowanych w okresie 2016–2021 na podstawie wyników PMŚ (GIOŚ, 2022)

możliwości wykonania oceny, ocena stanu ogólnego 3500 *jcwp* zbadanych w okresie 2016–2021 wskazuje że 99,6% z nich jest w stanie złym. Ocena stanu wód w przypadku braku informacji o stanie chemicznym wykonywana była tylko wtedy, kiedy klasyfikacja stanu/potencjału ekologicznego dała wynik poniżej dobrego. Stan dla takich *jcwp* ustalano jako zły. Najwięcej *jcwp* oceniono w dorzeczach Wisły i Odry, co wynika z zajmowanych przez te dorzecza powierzchni.

Wybrane kierunki działań dla poprawy stanu jakości wód

Do oceny skuteczności działań ochrony wód może służyć m.in. *analiza ładunków* poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń odprowadzanych do wód w danym okresie. Analiza łącznego ładunku zanieczyszczeń biologicznie rozkładalnych, wyrażonych 5-dobowym biochemicznym zapotrzebowaniem tlenu (BZT_5), odprowadzanych w ściekach z komunalnych oczyszczalni na obszarze Polski (w okresie 1998–2021) wykazała, co następuje:

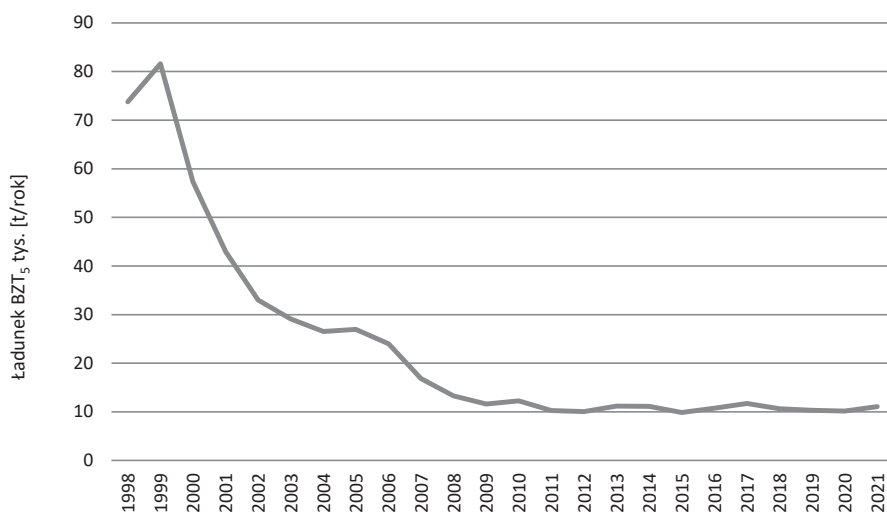
- łączny ładunek wyrażony w BZT_5 kształtował się w latach 1998–1999 na poziomie 70–80 tys. ton/rok,
- znacząco zmniejszył się do wartości 10–11 tys. ton/rok w 2011 roku,
- od 2011 roku ładunek utrzymuje się w zasadzie na stałym poziomie.

Należy dodać, że ładunki biogenów (azotu i fosforu) odprowadzane z Polski do Morza Bałtyckiego w okresie 1995–2020 również znacząco spadły, a mianowicie:

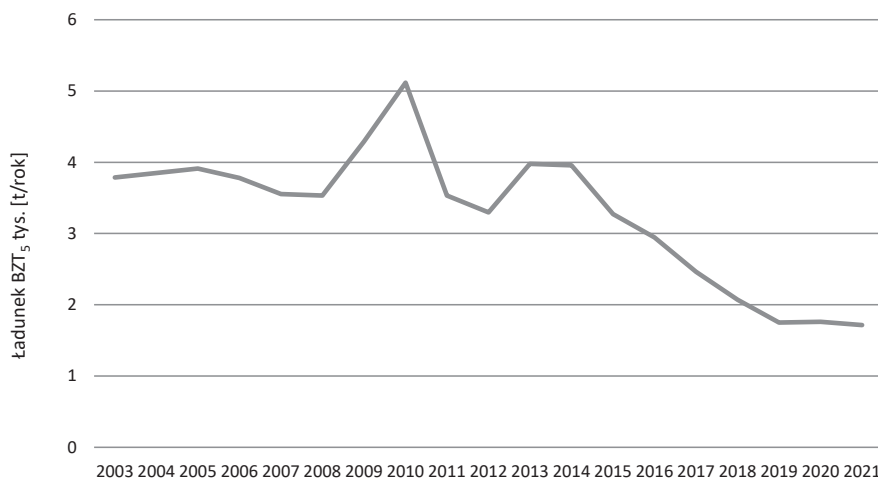
- ładunek azotu z 219,2 do 105,2 tys. ton N (52%),
- ładunek fosforu z 14,15 do 5,62 tys. ton P (60%).

Zmiany ładunków BZT_5 , według danych GUS, odprowadzanych z oczyszczalni ścieków komunalnych do wód w latach 1998–2021 przedstawiono na rysunku 5.

Do złego stanu wód przyczyniają się również brak właściwej strategii postępowania z osadami ściekowymi oraz brak postulowanego przez branżę wodociągowo-kanalizacyjną *Krajowego Programu Zagospodarowania Osadów Ściekowych* (KPZOŚ), który mógłby być uzupełnieniem (podprogramem) Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych (KPOŚK) lub programem samodzielnym.



Rysunek 5. Zmiany łącznego ładunku BZT₅ odprowadzanego do wód lub do ziemi z oczyszczalni komunalnych w okresie 1998–2021 (źródło danych: GUS)



Rysunek 6. Zmiany ładunku BZT₅ odprowadzanego do wód lub do ziemi z zakładów przemysłowych w latach 2003–2021 (źródło danych: GUS)

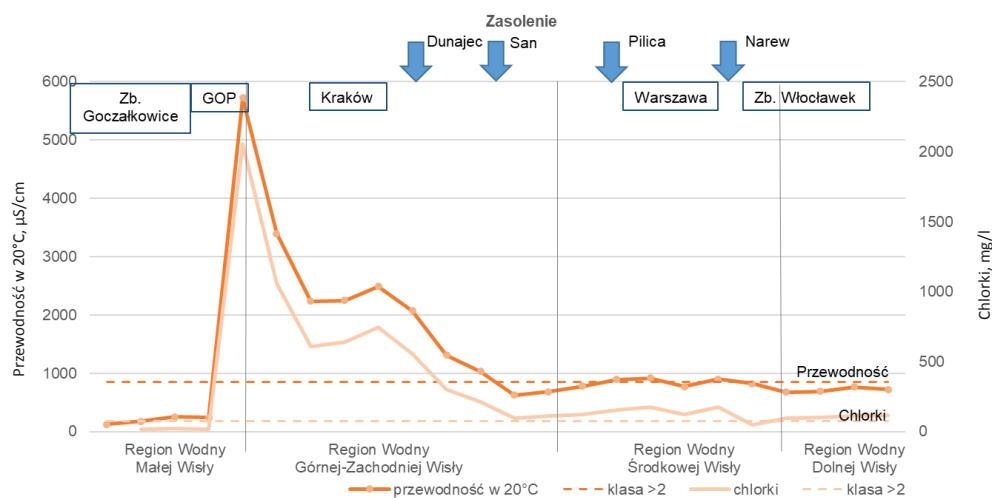
W ściekach przemysłowych odprowadzanych w okresie 2003–2021 do wód lub do ziemi łączny ładunek BZT₅ kształtował się, według danych GUS, na poziomie 5 tys. t/rok w 2010 roku, a następnie wykazywał tendencję spadkową do poniżej 2 tys. t/rok w 2019 roku (rys. 6); spadek wynikał z rozwoju technologii oczyszczania ścieków, m.in. w przemyśle spożywczym.

Zasolenie powierzchniowych wód płynących stanowi bardzo istotny problem gospodarki narodowej, szczególnie ze względu na szkody w środowisku wodnym rzek i zbiorników wodnych. Szczególny wpływ na regionalną gospodarkę wodną i jakość wód powierzchniowych wywiera górnictwo węgla kamiennego, które pompuje na powierzchnię zasolone wody dołowe. Istnieje wiele metod ograniczających zasolenie wód, z których każda ma swoje uwarunkowania. Niewystarczające działania ograniczające zasolenie wód mogą prowadzić do katastrof ekologicznych.

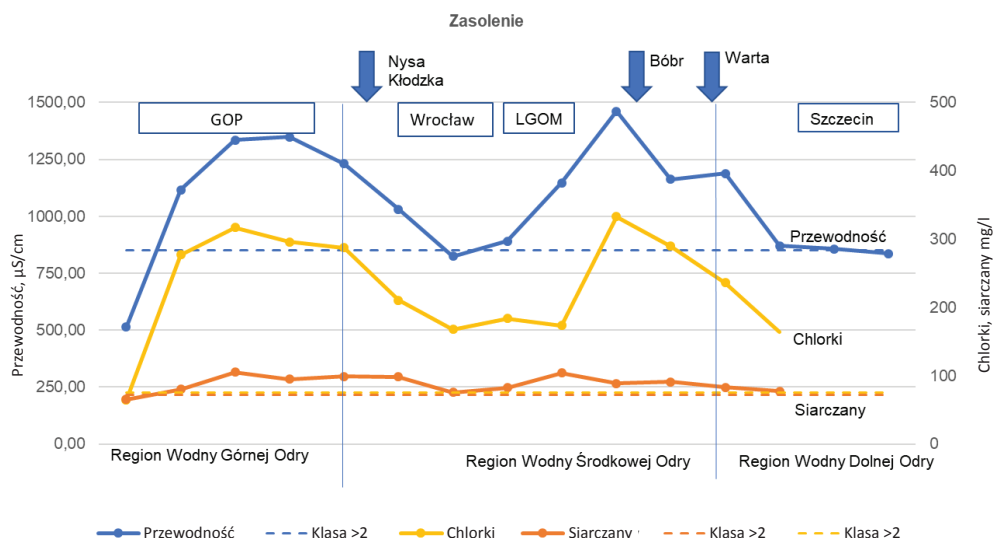
Katastrofa ekologiczna na Odrze w 2022 roku, związana z intensywnym zakwitem glonów – tzw. złotej algi (*Prymnesium parvum*), spowodowana była splotem niekorzystnych warunków: wysokim zasoleniem, wysoką temperaturą wody, niskim stężeniem tlenu oraz niskimi stanami wód. Masowe śnięcia ryb, przy zaistnieniu wskazanych czynników, nastąpiły również w innych akwenach, co wskazuje na możliwość wystąpienia tego zjawiska w zbiornikach służących do zaopatrzenia ludności w wodę. Przebieg zmienności wskaźników zasolenia (stężenie chlorków, przewodność elektroliczna) Wisły przedstawiono na rysunku 7, a Odry na rysunku 8.

Szczególną rolę w zanieczyszczeniu wód odgrywa azot i jego związki, zwłaszcza azotany pochodzenia rolniczego, przy czym ładunki azotu odprowadzane do wód powierzchniowych pochodzą ze źródeł punktowych lub obszarowych. Zanieczyszczenia obszarowe oprócz substancji biogenych (azotu i fosforu) to także m.in. zawiesiny i substancje toksyczne. Wielkość zanieczyszczeń obszarowych zależy nie tylko od niekontrolowanych zdarzeń meteorologicznych, ale też od innych czynników, w tym warunków geofizycznych i geologicznych. Ładunki odprowadzane do wód mogą się różnić w zależności od typu zlewni, jej zagospodarowania, jak też zmieniać w czasie. Do oceny wpływu tych zanieczyszczeń na wody i opracowywania strategii służą modele matematyczne zintegrowane z systemami informacji geograficznej (GIS).

Uzyskane dotychczas rezultaty w zakresie ochrony wód przed rozkładalnymi biologicznie zanieczyszczeniami organicznymi oraz substancjami biogennymi są głównie skutkiem realizacji KPOŚK, szczególnie w dużych i średnich aglomeracjach, gdyż w dyrektywie ściekowej położono główny nacisk na redukcję ładunków tych rodzajów zanieczyszczeń. Na inwestycje dotyczące systemów kanalizacyjnych i oczyszczalni ścieków w KPOŚK wydano dotychczas ponad 100 mld PLN.



Rysunek 7. Przebieg zmienności wskaźników zasolenia Wisły wzdłuż jej biegu (GIOŚ, 2022)



Rysunek 8. Przebieg zmienności wskaźników zasolenia Odry wzdłuż jej biegu (GIOŚ, 2022)

Nowe dyrektywy dotyczące wody i ścieków powinny być przeanalizowane i transponowane do prawodawstwa krajowego. Nowela dyrektywy ściekowej, zatwierdzona przez Radę Unii Europejskiej w listopadzie 2024 roku, która wymaga m.in.: oczyszczania ścieków komunalnych w aglo-

meracjach o równoważnej liczbie mieszkańców (RLM) większej niż 1000, trzeciego i czwartego stopnia oczyszczania ścieków oraz neutralności energetycznej oczyszczalni ścieków i rozszerzonego monitoringu oczyszczanych ścieków, niewątpliwie przyczyni się do poprawy stanu jakości wód w dalszej perspektywie.

Należy nie tylko opracować program realizacyjny dla wymagań znowelizowanej dyrektywy ściekowej, ale przede wszystkim zapewnić niezbędne finansowanie dla tego programu.

Podsumowanie

Zanieczyszczenie wód stwarza potencjalne niebezpieczeństwo dla zdrowia społeczeństwa, a nawet życia ludzi, stanowi bezpośrednie zagrożenie dla przyrody oraz wpływa na zmniejszenie dyspozycyjnych zasobów wodnych, zmniejszając zdolność wód do samooczyszczania i ograniczając ich bezpośrednie wykorzystanie do celów gospodarczych.

Zły stan jakości krajowych wód powierzchniowych, potwierdzony w PMŚ przez GIOŚ, powoduje, że zarówno w ochronie wód przed zanieczyszczeniami, jak i w samym wykorzystaniu monitoringu wód jest wiele do zrobienia.

Istotne formy zanieczyszczenia wód krajowych obejmują: związki organiczne, związki biogenne (związki azotu oraz fosforu), substancje toksyczne, mikroorganizmy chorobotwórcze i nowe rodzaje zanieczyszczeń. Narasta zagrożenie ze strony nowych rodzajów zanieczyszczeń, przedostawania się do wód substancji priorytetowych. W tym zakresie ochrona wód jest realizowana zazwyczaj przez działania związane z progresywną redukcją substancji priorytetowych lub nawet zaprzestaniem ich produkcji.

Konieczne jest przy tym wzmocnienie monitoringu jakości wód i działań kontrolnych. W Polsce praktycznie nie ma dotychczas sprzężenia krajowego monitoringu stanu wód z krajowym monitoringiem jakości ścieków i/lub nowych form zanieczyszczeń w nich zawartych. Monitoring ścieków mógłby być zorganizowany na bazie danych od przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych i nadzorowany przez właściwą instytucję. W dobie komputeryzacji i automatyzacji oczyszczalnie ście-

ków wykorzystują w znacznym stopniu czujniki do ciągłych pomiarów ilościowych, jak i czujniki do monitorowania coraz większej liczby parametrów jakościowych ścieków. Ponieważ w aktualnym prawodawstwie krajowym brakuje odniesienia do zorganizowanego krajowego monitoringu ścieków odprowadzanych do wód, toteż brak takiej formy działań kontrolnych przyczynia się do niezadowalającej oceny stanu ekologicznego wód, pomimo intensywnej realizacji inwestycji KPOŚK.

W Polsce dopiero masowe śnięcia ryb spowodowały zainteresowanie monitoringiem wód. Przede wszystkim należy unowocześnić wyposażenie laboratoriów analitycznych realizujących rutynowe badania jakości wód. Nowela dyrektywy w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (2020/2184) wymaga przykładowo monitorowania m.in. niebezpiecznych substancji per-i-polifluoroalkidowych (PFAS), jak też mikrozanieczyszczeń i odmian wirusów w wodach i ściekach, do czego potrzebne są metodyka ich oznaczania i nowoczesny sprzęt laboratoryjny, np. chromatografia gazowa wysokiej rozdzielczości sprzężona z jonizacją elektronową ujemną o niskiej rozdzielczości (HRGC-ECNI/LRMS), która, jak przyznaje Joint Research Centre przy Komisji Europejskiej, raczej nie jest standardowo spotykana w laboratoriach zajmujących się monitoringiem wód.

Lista substancji PFAS w negocjowanej obecnie dyrektywie wód podziemnych wymienia 24 substancje, natomiast w dyrektywie dotyczącej wód pitnych jest 20 substancji. Dodatkowo, na liście substancji proponowanych w pierwszej z wymienionych dyrektyw brakuje czterech substancji z listy zawartej w drugiej dyrektywie wód pitnych (kwasu perfluoronanosulfonowego – PFNS, kwasu perfluoroundekanosulfonowego, kwasu perfluorododekanosulfonowego, kwasu perfluorotridekanosulfonowego). Zgodnie z nowelą dyrektywy wód pitnych, państwa członkowskie zobowiązane są do oceny ryzyka i zarządzania ryzykiem w obszarach zasilania dla punktów poboru wody do spożycia przez ludzi, w ramach czego oczekuje się monitorowania wód podziemnych w zakresie 20 związków PFAS wskazanych w załączniku I. Ujednolicenie list pozwoliłoby na optymalizację monitoringu na poziomie krajowym, dając możliwość wzajemnego z nich korzystania zarówno przez podmioty wykonujące monitoring wód podziemnych na potrzeby RDW, jak i dyrektywy dotyczącej wód pitnych.

Niewątpliwie krajowy system monitoringu wód, dążąc do integracji sieci monitoringowych na poziomie unijnym, musi się dalej rozwijać jako zintegrowana całość, we wszystkich kierunkach jego składowych elementów.

Literatura

- Ciećko, P., Panek, P. (2019). *Zanieczyszczenia wód w Polsce – Stan śródlądowych wód powierzchniowych i podziemnych*, s. 58–80. [w]: M. Gromiec, Pawłowski L. (red.), *Zanieczyszczenie wód w Polsce – stan, przyczyny, skutki*. Raport. Monografia Komitetu Inżynierii Środowiska PAN nr 164, s. 107.
- Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (2022). *Stan środowiska w Polsce. Raport*. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa.
- Gromiec, M.J. (2001). *Główne problemy we wdrażaniu Ramowej Dyrektywy Wodnej do praktyki podsystemu monitoringu wód Państwowego Monitoringu Środowiska*. Ekspertyza dla Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Warszawa.
- Gromiec, M. (2002). *Polityka wodna Unii Europejskiej w Dyrektywie Ramowej 2000/60/UE i jej implikacje dla Polski*. Wydanie trzecie zmienione. Monografie, Seria Wodociągi i Kanalizacja Nr 2. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych. Warszawa, s. 150.
- Gromiec, M. i in. (2005). *Trendy zmian jakości wód rzek i jezior*. Wydawca Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa, s. 198. ISBN 83-88897-52-7.
- Gromiec, M.J., Jansen, J.K. (Eds.) (2005). *Controlling Non-Point Pollution in Polish Catchments*. Based on Final report for DANCEE/NFOŚiGW. DHI – Water and Environment. Publisher DHI-Water and Environment W&E/IM&WM. Copenhagen-Warsaw, s. 182.
- Gromiec, M., Dojlido, J. (red.) (2006). *Zmiany w wybranych zbiornikach wodnych*. Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa, s. 136.
- Gromiec, M.J., Nielsen, D.J. (Eds.) (2006). *Automatic Water Quality Monitoring and Warning System. Theory and Practice*. DHI – Water and Environment – Denmark, Institute for Meteorology and Water Management – Poland. Municipal Company for Water Supply and Sewerage of the City of Warsaw – Poland. Publisher IMWM/PNC IWA, Warsaw-Aarhus, pp. 261.
- Gromiec, M.J. (red.) (2007). *Modelowanie matematyczne wód podziemnych. Przykłady zastosowań*. Wydawca Europejskie Centrum Ekologiczne/PC IWA, Warszawa, s. 421.
- Gromiec, M.J. (2008). *Zastosowanie modeli matematycznych i systemów informacyjnych w zlewniowej ochronie wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniem*. Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa. ISBN 978-83-61102-11-3, s. 136.

- Gromiec, M.J. (2011). *Modelowanie matematyczne zanieczyszczeń obszarowych pochodzenia rolniczego. Wdrażanie dyrektywy azotanowej*. Monografie Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania (obecnie ATA Nauk Stosowanych). Warszawa, s. 222.
- Gutowska-Siwiec, L., Gromiec, M.J. (2007). *System pilotowy automatycznego monitoringu ujęć wody dla miasta stołecznego Warszawy*, s. 157–173. W: M.J. Gromiec (red.), *Ochrona ujęć wody przed zanieczyszczeniem – Poprawa jakości wody dla Warszawy*. Wydawca MPWiK w m.st. Warszawie S.A., Warszawa, s. 301.
- Kinney, W.L. McKee, G.D. (1989). *Ocena wód powierzchniowych w Polsce*, s. 109–120. W: *Materiały VII Sympozjum pt. Metody badań i oceny monitoringu jakości wód powierzchniowych* (red. M.J. Gromiec). Warszawa, s. 304.
- Marciniewicz-Mykieta, M. (2024a). *Ocena możliwości poprawy jakości wód powierzchniowych*. *Gospodarka Wodna* 3, 28–32.
- Marciniewicz-Mykieta, M. (2024b). *Analiza stanu zanieczyszczenia wód powierzchniowych w Polsce i ocena możliwości jego poprawy*. Rozprawa doktorska. Politechnika Lubelska 2024.
- Praca zbiorowa pod kierunkiem M. Gromca (2006a). *Zastosowanie GIS w meteorologii i gospodarce wodnej*. Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa, s. 273.
- Praca zbiorowa pod kierunkiem M. Gromca (2006b). *Systemy podejmowania decyzji w gospodarce wodnej. Przykłady zastosowań*. Wydawnictwo Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa, s. 309.
- Praca zbiorowa pod redakcją M. Gromca, J. Dojlido, J. Kloze (2006). *System informacyjny o zlewni Świder*. Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa, s. 160.
- Praca zbiorowa pod kierunkiem M. Gromca (2008). *Systemy informacyjne w zlewniowej gospodarce wodnej*. Monografie Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Warszawa, s. 496.
- Zieliński, J., Gromiec, M.J. (1989). *Koncepcja monitoringu jakości wód – wody powierzchniowe płynące, jeziora, wody gruntowe, wody morskie*, s. 99–108. W: *Materiały VII Sympozjum pt. Metody badań i oceny jakości wód powierzchniowych* (red. M.J. Gromiec). Warszawa, s. 304.

Wybrane akty prawne

- Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich z dnia 21 maja 1991 roku dotycząca oczyszczalni ścieków komunalnych (91/271/EWG). Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich, Nr L135/40. 30.05.1991.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Wspólnot Europejskich z dnia 23 października 2000 roku ustanawiająca ramy dla działania Wspólnoty w dziedzinie polityki wodnej (2000/60/UE). Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich, Nr L327/23. 22.12.2000.

- Rozporządzenie Ministra Środowiska i Zasobów Naturalnych z dnia 5 listopada 1991 roku w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód i do ziemi. Dz.U. Nr 16, poz. 503.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 roku w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia. Dz.U. Nr 204, poz. 1728.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 11 lutego 2004 roku w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i reprezentacji stanu tych wód. Dz.U. Nr 137, poz. 1799.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 listopada 2004 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzeniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Dz.U. Nr 137, poz. 1799.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 roku w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Dz.U. Nr. 137, poz. 984.
- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 25 czerwca 2021 roku w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji systemu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakościowych dla substancji priorytetowych. Dz.U. 2021, poz. 1475.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dziennik Urzędowy UE L435/1. 23.12.2020.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/3019 z dnia 27 listopada 2024 roku dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych. Dziennik Urzędowy UE L2024.3019. 1.01.2025.
- Ustawa Prawo wodne z dnia 18 lipca 2001 roku. Dz.U. Nr 115, poz.1229 z późn. zm.

ZAGROŻENIA LASU ZWIĄZANE Z WODĄ

EDWARD PIERZGALSKI, JANUSZ CZEREPKO

Wprowadzenie

Zasoby wodne i lasy wiążą wzajemne relacje. Warunki wodne mają istotny wpływ na kształtowanie siedliskowego typu lasu i jego bioróżnorodność, rozwój i kondycję drzewostanów, stan fauny leśnej, a także na odporność ekosystemu leśnego na zakłócenia hydrologiczne i zmiany klimatyczne. Las natomiast poprawia jakość wody, chroni glebę przed erozją, a przede wszystkim dzięki zdolnościom retencyjnym wpływa na wezbrania i niżówki w ciekach wodnych, zmniejszając zagrożenie powodzią oraz skutki susz. Wymienione wzajemne oddziaływania zależą od wielu czynników, m.in. od lokalizacji zlewni, ukształtowania jej powierzchni, właściwości fizycznych gleb, rodzaju i stanu pokrywy roślinnej, a także od zmiennych w czasie i przestrzeni warunków meteorologicznych.

Cele regulacji stosunków wodnych w lasach ulegały zmianom w różnych etapach gospodarki leśnej. Priorytet produkcji drewna spowodował, że inwestycje wodne wykonywane w lasach w XX wieku w okresie od lat 50. do 90. były ukierunkowane na poprawę warunków wzrostu drzew i powiększenie powierzchni leśnej. Obejmowały głównie komunikację, poprawę warunków wilgotnościowych oraz zalesienie tzw. nieużytków śródleśnych, głównie bagien i torfowisk. Późniejsza redefinicja celów gospodarki leśnej, a także zmiany klimatu i inne czynniki oddziałujące na gospodarkę leśną spowodowały istotne zmiany oceny potrzeb i metod regulacji stosunków wodnych

w lasach, uwzględniające wymogi wielofunkcyjnej gospodarki leśnej, w tym względy środowiskowe i społeczne, a także dostosowanie do zachodzących i prognozowanych zmian klimatu (Pierzgalski, 2009).

Prognozy dotyczące zmian klimatu wskazują, że temperatury powietrza nadal będą wzrastać (Kundzewicz i in., 2010, 2018; IPCC, 2021, 2022). Można się spodziewać, przy zbliżonej wielkości opadów rocznych, występowania mniejszych opadów w okresach wegetacyjnych w porównaniu do zimowych, a także częstszych opadów nawałnych, będących główną przyczyną podtopień i powodzi. Coraz bardziej dokuczliwe będą dłuższe okresy bezopadowe, których skutkiem jest przesychanie gleb na znaczną głębokość (Boczoń i Jabłoński, 2019), a także obniżanie się poziomu zwierciadła wody gruntowej i zmniejszanie się przepływów w rzekach do stanów niżówkowych, a nawet całkowite ich zanikanie.

Dostrzegając zagrożenia klimatyczne, PGL Lasy Państwowe opracowało w 2023 roku dokument pt. „Kompleksowy program przeciwdziałania procesom zamierania lasów w Polsce oraz działania mitygacyjne w perspektywie do 2030 roku” (PGL Lasy Państwowe, 2023). Cel przedstawionego programu sformułowano następująco: *zapobieżenie lub minimalizacja negatywnych skutków gwałtownych zmian klimatycznych, w tym przede wszystkim niedopuszczenie do wielkopowierzchniowego zamierania lasów*. W tym dokumencie przedstawiono skalę zamierania lasów w Polsce w okresie 2015–2021, prognozy na przyszłość, propozycję krótko- i długoterminowych przedsięwzięć w zakresie hodowli, ochrony, urządzania lasu i gospodarki wodnej, a także zakres proponowanych badań naukowych i rozwoju nowoczesnych teledetekcyjnych technologii.

Celem niniejszego rozdziału jest przedstawienie najważniejszych zagrożeń ekosystemów leśnych związanych z wodą, a także metod ich ograniczania za pomocą melioracji wodnych, urządzeń retencyjnych, ochrony mokradł oraz planów gospodarowania wodą w nadleśnictwach.

Wymagania wodne dla prawidłowego rozwoju lasu

Lasy zużywają więcej wody niż inne typy roślinności lądowej, np. użytki rolne mają średnio dwukrotnie mniejsze zużycie wody w skali roku niż lasy iglaste. Wynika to głównie z przechwytywania wody opadowej przez rozbu-

dowaną strukturę pionową drzewostanów – intercepcję (Calder i in., 2003). Parowanie z lasu (ewapotranspiracja = ewaporacja + transpiracja) jest o wiele większe niż z ekosystemów nieleśnych, choć stopień zapotrzebowania na wodę zależy od wielu czynników, takich jak: intensywność użytkowania, struktura lasu, ale też warunki glebowe i klimatyczne. Głównym różnieniem zróżnicowania struktury lasu jest podział na drzewostany iglaste i liściaste. Drzewostany iglaste mają zazwyczaj większe zużycie wody, ponieważ charakteryzują się wysoką intercepcją, która występuje przez cały rok poprzez utrzymywanie aparatu asymilacyjnego. Nasila się to w zimie, kiedy warunki są zazwyczaj najbardziej wilgotne i wietrzne. Badania wykazały, że od 25 do 45% rocznych opadów jest przechwytywane przez drzewostany iglaste, w porównaniu z 10–25% w przypadku drzewostanów liściastych (Calder i in., 2003).

Wielkość transpiracji różni się natomiast nieznacznie między lasami iglastymi i liściastymi, a roczne ubytki wody z tego tytułu mieszczą się w przedziale 300–390 mm (Roberts, 1983), przy czym transpiracja drzew liściastych jest w większych zakresach (Aranda i in., 2012). W związku z tym, jeśli weźmie się pod uwagę zarówno intercepcję, jak i transpirację, przy założeniu rocznych opadów wynoszących 1000 mm, można oczekiwać, że drzewa iglaste zużyją około 550–800 mm wody, w porównaniu z 400–640 mm w przypadku drzew liściastych (Calder i in., 2003). Gospodarka leśna może mieć wpływ na zużycie wody przez drzewostan. Wycinka drzew jest najbardziej radykalną interwencją ograniczającą transpirację, ale też intercepcję, chociaż usunięcie drzew nie eliminuje całkowicie ewapotranspiracji. Zależy to od tego, czy po użytkowaniu lasu pozostało runo leśne, w jakim stopniu jest ono nieuszkodzone oraz w jaki sposób zagospodarowane są tzw. pozostałości zrębowe, czyli gałęzie, wierzchołki drzew, czy też martwe drewno w postaci leżaniny. Badania nad absorpcją wody przez martwe drewno wskazują, że może ona dochodzić do blisko trzykrotności wagi silnie rozłożonej masy drzewnej (Błońska i in., 2018). Chociaż podszyt ma stosunkowo niewielki wpływ na zużycie wody w większości drzewostanów, sytuacja ta szybko się zmienia po usunięciu drzew. Im bardziej rozwinięty jest podszyt i im mniej jest on uszkodzony przez użytkowanie lasu, tym mniejsza jest zmiana w ewapotranspiracji. Największy jej spadek wystąpi w przypadku usunięcia drzewostanów iglastych ze słabo rozwiniętą roślinnością dna lasu. Jednak jeśli nawet pozostawia się tymczasowo grunt bez roślinności wskutek przygotowania gleby, a tym samym nie ma strat związanych z transpiracją,

często pewna ilość opadów przechwytywana jest przez pozostałości zrębowe, gałęzie, leżaninę. Dlatego ubytki ewaporacyjne wody z terenów zrębowych bez pozostawionego drewna będą niższe. Badania wykazały, że gruba warstwa gałęzi może zatrzymać nawet 15% rocznych opadów, co jest wartością podobną do intercepcji z koron lasu liściastego (Johnson, 1995). Ilości te będą maleć w ciągu kilku lat wraz z rozkładem gałęzi, chociaż wpływ na zużycie wody zostanie zrównoważony przez wzrost tempa transpiracji w miarę wzrostu lasu.

Trzebieże mają zazwyczaj niewielki wpływ na zużycie wody przez drzewostany. Najmniejsze zmiany w ewapotranspiracji są przy umiarkowanych trzebieżach, które nie powodują trwałego przerwania zwarcia koron drzew (Boczoń i Zachara, 2022). Bardziej znaczący wpływ na zużycie wody może mieć przygotowanie gleby pod sadzenia lub siew. Wielkość tego wpływu zależy w dużym stopniu od techniki przygotowania gleby. Orka powoduje największy spadek transpiracji, pozostawiając tymczasowo powierzchnię gleby bez roślin. Stosowanie herbicydów do zwalczania konkurencyjnej roślinności jest kolejnym działaniem, które spowoduje tymczasowy spadek zużycia wody.

Współczesna gospodarka leśna w Europie bazuje jednak coraz bardziej na odnowieniach naturalnych i utrzymaniu w jak największym stopniu drzewostanu w trakcie odnowienia (Pommerening i in., 2025). Praktyki przygotowania gleby, polegające na naruszaniu jej struktury po stosowaniu zrębów zupełnych, są ograniczane również ze względu na wysoką ewaporację i tym samym trudności z odnowieniem wskutek deficytu wodnego. Powolniejszy wzrost odnowień pod okapem macierzystego drzewostanu rekompensują korzyści związane z kształtowaniem środowiska w cienistych lasach, które sprzyjają szybkiej regeneracji ekosystemów leśnych i utrzymaniu w jak największym stopniu gatunków typowo leśnych, zarówno fauny, flory, jak i grzybów, co wzmacnia odporność lasów na zagrożenia biotyczne i abiotyczne. Dlatego przy utrzymywaniu ciągłej pokrywy lasu zmiany w ewapotranspiracji będą coraz mniejsze.

Skład gatunkowy drzewostanu i sposób zagospodarowania mają znaczący wpływ na jego potrzeby wodne. W wielu programach zalesiania nie uwzględnia się obecnie kwestii zużycia wody, ponieważ programy te zazwyczaj koncentrują się raczej na wzroście wydajności lub optymaliza-

cji składu gatunkowego lasów jako pochłaniaczy dwutlenku węgla (Chiti i in., 2024). Przewidywany wzrost znaczenia wody jako czynnika ograniczającego przyszłość wielu lasów przemawia za uwzględnieniem jej jako priorytetu w planowaniu składu gatunkowego lasów i odnowienia. W wielu jednak przypadkach braki w wiedzy mogą uniemożliwić skuteczne uwzględnienie wody jako priorytetu w gospodarce leśnej poprzez określenie składu gatunkowego i wieku drzewostanu oraz stopnia zwarcia. Las o zróżnicowanym wieku zwykle zużywa mniej wody niż las jednowiekowy (z wyjątkiem pierwszych 10–15 lat wzrostu w przypadku tego ostatniego) ze względu na mniejszy udział lasu w pełni rozwiniętego, „przechwytyującego” wodę przez korony drzew. Dzieje się tak pomimo większej długości krawędzi koron między młodymi i starymi drzewostanami w lesie o zróżnicowanym wieku, co zwiększa lokalną turbulencję, a tym samym tempo parowania. Kolejnym czynnikiem, który należy wziąć pod uwagę, jest spadek zużycia wody przez drzewa wraz z wiekiem, co może przyczynić się do mniejszego zużycia wody przez pozostawione płyty starodrzewów (Aranda i in., 2012).

Znajomość zapotrzebowania na wodę ekosystemów leśnych, które jest największe w porównaniu z innymi typami ekosystemów lądowych, powoduje, że np. w odtwarzaniu torfowisk ogranicza się rozwój roślinności leśnej (Czerepko i in., 2018). Niemniej jednak badania nad funkcjami lasu, ich komplementarność, pozwalają na odmienne spojrzenie na las, tj. nie tylko jako system o dużym zapotrzebowaniu na wodę, który może zwiększać deficyt wodny w mokradłach. We wcześniejszej literaturze przedmiotu lasy opisywano jako pochłaniacz wody, a zarazem jej magazyn, podkreślając zdolność koron, korzeni i gleb do retencji, łagodzenia powodzi i wyrównywania przepływów rzek. Obecnie podkreśla się wielorakie korzyści płynące z usług związanych z wodą z lasów (produkcja biomasy, tworzenie mikroklimatu, kontrola erozji, chłodzenie atmosfery, oczyszczanie i powstawanie opadów, w tym mgieł). W rezultacie tych obserwacji postrzeganie lasów jako ekosystemów o największych wymaganiach wodnych jest zastępowane zintegrowanym podejściem, uznającym kompromis między pochłanianiem wody przez las i wieloma korzyściami związanymi ze specyfiką warunków wodnych kształtowanych przez lasy, a które są korzystne dla przyrody i człowieka (Ellison i in., 2017).

Na podstawie przeglądu wyników badań nad rolą lasów w kształtowaniu zasobów wodnych Europejski Instytut Leśny rekomenduje kilka zasad gospodarki leśnej przyjaznej gospodarce wodnej:

- celowe jest unikanie zrębów zupełnych, zwłaszcza na obszarach narażonych na erozję, a także zmniejszanie spływu powierzchniowego, zwłaszcza na stromych zboczach, poprzez ograniczanie powierzchni użytkowania,
- degradacja gleby i utrata pokrywy leśnej w skali globalnej przyczynia się do utraty węgla w glebie, infiltracji, retencji wody i zasilania wód gruntowych, co powoduje, że „wysychające krajobrazy” stają się bardziej podatne na suszę i pożary,
- przywracanie lasów w dolinach rzek przyczynia się do poprawy jakości wody i odporności na powódzie,
- na obszarach ujęć wód lasy liściaste są preferowane bardziej niż iglaste, ponieważ ich mniejsza średnia powierzchnia liściowa zapewnia większy odpływ i infiltrację wody oraz ogranicza zanieczyszczenie warstw wodonośnych,
- w kontekście zmian klimatycznych i nasilających się letnich susz większa intensywność trzebieży stymuluje żywotność lasów i wzrost drzew, a kształtowanie drzewostanów wielogatunkowych prowadzi do uzupełniającego się wykorzystania gleby przez korzenie i może przyczyniać się do poprawy odporności na suszę,
- utrzymanie, w jak największym stopniu, pokrywy dojrzałych drzew wokół miast schładza antropogeniczne wyspy ciepła i łagodzi szczytowe przepływy wód.

Wodne zagrożenia lasów

Ogólnym celem gospodarki wodnej w lasach jest umożliwienie realizacji ekologicznych, produkcyjnych i społecznych funkcji lasu. Cele gospodarowania wodą w lasach obejmują (Pierzgalski i Tyszka, 2016):

- zachowanie stabilnych warunków rozwoju ekosystemu leśnego, czyli kształtowanie odpowiednich warunków glebowo-wodnych, ochronę przed ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi w postaci susz i powodzi oraz przed zanieczyszczaniem wód powierzchniowych i podziemnych,

- zwiększanie zasobów wodnych w celu zaspokojenia potrzeb konsumentów wód, szkółek leśnych, a także dla ochrony przed pożarami,
- rozwój różnorodności biologicznej i krajobrazowej (m.in. renaturyzacja obszarów wodno-błotnych),
- ochronę przed zniszczeniem zasobów przyrodniczych i infrastruktury w okresach ekstremalnych warunków hydrologicznych, w tym minimalizowanie fal wezbraniowych i procesów erozyjnych,
- rozwój bazy turystyczno-wypoczynkowej.

Brak lub nadmiar wody są czynnikami inicjującymi choroby lasu prowadzące w skrajnym przypadku do jego wymarcia. Ekosystem leśny ma mechanizmy umożliwiające jego naturalny rozwój w przeciętnych warunkach pogodowych i przy przedsięwzięciach technicznych niezbyt mocno ingerujących w obieg wody. Drzewostany dostosowują się do różnych warunków wodnych i glebowych: rosną w Polsce na obszarach o opadach rocznych w zakresie od 500 do 1500 mm, występują na wydmach, mokradłach, w dolinach na różnych glebach, a także w górach, często na glebach pływających.

Zagrożenia wodne dla rozwoju, a nawet istnienia lasu występują wskutek zdarzeń ekstremalnych: w postaci wysokich opadów, będących główną przyczyną długotrwałych powodzi i podtopień powodujących brak tlenu w strefie korzeniowej roślin, a także niedoborów wody w okresach bezopadowych, którym towarzyszą wysokie temperatury powietrza prowadzące do susz meteorologicznych, hydrologicznych i najgroźniejszych dla roślin susz glebowych, będących jednym z głównych czynników inicjujących klęski ekologiczne w lasach (Brzeziecki, 2021; Dyderski i in., 2025). Susze przyspieszają także degradację gleb organicznych i zwiększają zagrożenie pożarowe. Zdarzają się także zagrożenia innego rodzaju. W latach 70. ubiegłego wieku kwaśne deszcze powodowały zniszczenia lasów w Czechach, w Niemczech i w Polsce. O ich dużej skali występowania świadczą zniszczenia lasów w Sudetach na powierzchni około 160 km² (Pierzgałski i in., 2005).

Poważny wpływ na kształtowanie się niekorzystnych warunków wodnych, często o zasięgu lokalnym, ma ingerencja antropogeniczna w naturalny obieg wody zarówno za pomocą środków technicznych, jak i metod gospodarki leśnej. Trwałe zmiany warunków wodnych na obszarach leśnych wywołują inwestycje hydrotechniczne (ujęcia wód powierzchniowych, pobór wód podziemnych, stopnie i zbiorniki wodne, regulacje rzek, wały przeciwpowodziowe).

Zagrożeniem dla drzew są zmiany przekraczające ich zdolność tolerancji na brak lub nadmiar wody. Szczególnie wrażliwe na ekstremalne zmiany uwilgotnienia gleby są drzewostany korzystające w dużym stopniu z zasobów wód gruntowych w siedliskach wilgotnych i bagiennych. Porównując wymienione zagrożenia klimatyczne dla lasów, obecnie uważa się, że większe zagrożenie dla lasu stanowią niedobory wody w porównaniu do ich nadmiaru. Z technicznego punktu widzenia znacznie łatwiej jest usunąć wodę z zalanych terenów niż poprawić uwilgotnienie gleb w czasie długotrwałej suszy.

Przedsięwzięcia zapobiegające lub zmniejszające zagrożenia wodne

Melioracje wodne

Po drugiej wojnie światowej w Polsce istotny wpływ na warunki wodne w lasach miały warunki meteorologiczne i urządzenia wodno-melioracyjne. Charakterystyczne były wówczas relatywnie wysokie opady oraz zimy z roztopiającym się na wiosnę śniegiem. Z kolei urządzenia melioracyjne były mocno zniszczone wskutek działań wojennych i braku konserwacji. Przy istniejących wówczas warunkach wodnych szybkie osiągnięcie dużej i bardzo wówczas potrzebnej produkcji drewna było niemożliwe. Dlatego w latach 50. XX wieku podjęto duży program dotyczący zarówno naprawy i modernizacji istniejących urządzeń melioracyjnych, jak i nowych inwestycji (Naczelny Zarząd Lasów Państwowych, 1986, 1987). Ich celami były: komunikacyjne udostępnienie terenu, umożliwienie wykonywania zabiegów hodowlanych oraz zwiększenie powierzchni leśnej, głównie na tzw. nieużytkach, czyli bagnach i torfowiskach śródleśnych.

Szacowano wówczas (Babiński i in., 1989), że obszar wymagający regulacji stosunków wodnych w lasach wynosił 1050 tys. ha, w tym 900 tys. ha siedlisk leśnych, 140 tys. ha użytków zielonych (łąki i pastwiska) oraz 10 tys. ha nieużytków bagiennych. Do 1990 roku zmeliorowano łącznie powierzchnię około 850 tys. ha, w tym 590 tys. ha w latach 1951–1970 oraz 250 tys. ha w okresie 1971–1990. Zdecydowana większość zrealizowanych prac (około 90%) obejmowała odbudowę i modernizację istniejących urządzeń.

W początkowym okresie realizowano systemy regulowanego odpływu, z wykorzystaniem zastawek i przepustów z zasuwą do regulowania odpływu w rowach melioracyjnych. Jednakże później dominowały systemy odwadniające, gdyż okazało się, że urządzenia umożliwiające zatrzymanie odpływu były często niepotrzebne, bo warunki meteorologiczne kształtowały wówczas znacznie częściej nadmiar wody niż jej niedobór (Babiński, 1987). Prawdopodobnie dodatkowymi powodami tej zmiany były także eliminacja nakładów pracy związanej z obsługą urządzeń piętrzących oraz brak monitorowania zmian położenia zwierciadła wody gruntowej jako podstawy prawidłowej eksploatacji urządzeń wodnych. Wskutek tych zmian nieprawidłowo, lecz powszechnie zaczęto utożsamiać melioracje z odwodnieniem.

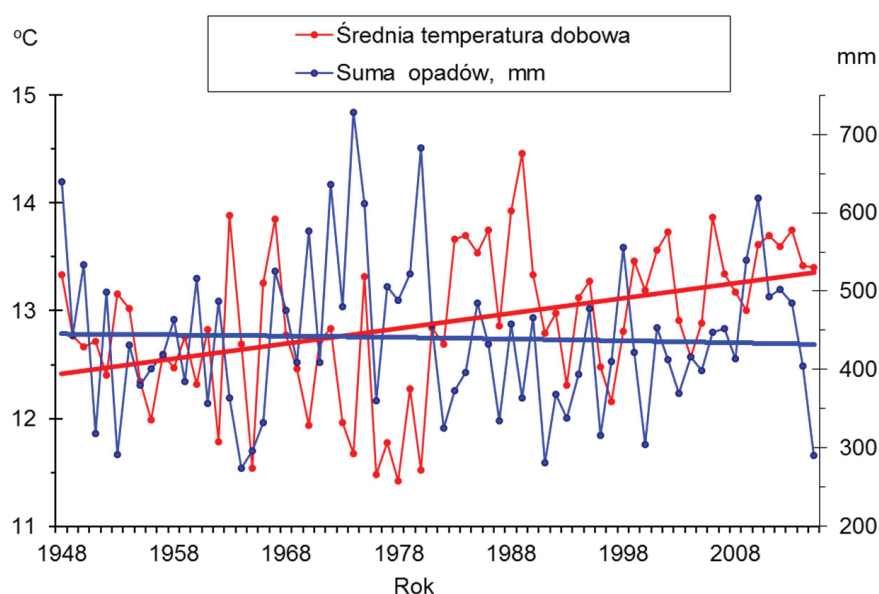
Nawodnienia w lasach, pomijając odpływ regulowany, stosowane są w zasadzie jedynie w szkółkach leśnych. Ponad 90% szkółek jest wyposażonych w urządzenia nawadniające, głównie deszczownie i mikronawodnienia. Nawodnienia chronią sadzonki przed suszą i wpływają istotnie na ich jakość. Deszczownie są także wykorzystywane w ochronie sadzonek przed przymrozkami.

W Instytucie Badawczym Leśnictwa badano wpływ grawitacyjnych systemów odwadniających na rozwój drzewostanów (Babiński i in., 1989). Badania prowadzono od początku lat 60. do lat 80. ubiegłego wieku w Lasach Janowskich, na powierzchniach zmeliorowanych oraz na powierzchniach kontrolnych w siedliskach boru wilgotnego (Bw), boru bagiennego (Bb) oraz na nieużytkach bagiennych. Mierzono m.in. przyrosty grubizny, wysokości drzew i miąższości strzał. Wyniki pomiarów wykazały jednoznacznie pozytywny wpływ odwodnienia sięgający od kilkudziesięciu do nawet dwustu procent przyrostu badanych parametrów drzew w porównaniu do wyników na powierzchniach kontrolnych. Autorzy badań wskazywali także na inne, poza zwiększonymi przyrostami drzewostanów, efekty melioracji w postaci ułatwienia realizacji prac leśnych, możliwości wzbogacenia składu gatunkowego drzewostanów oraz zwiększenia ich biologicznej odporności.

W latach 80. ubiegłego wieku wystąpiła istotna zmiana warunków meteorologicznych, polegająca głównie na wzroście temperatury powietrza. W wielu kompleksach leśnych pojawiły się braki wody. Wzrosła krytyka funkcjonowania systemów odwadniających, jako przyczyny zmniejszenia zasobów wodnych. Szczególnie negatywnie oceniano odwodnienia gleb

organicznych, które powodują ich murszenie, a także wpływają na emisję gazów cieplarnianych. Należy podkreślić, że urządzenia melioracyjne mogą i powinny spełniać wymagania dotyczące ochrony środowiska, zwłaszcza na obszarach chronionych.

Zachodzące zmiany warunków meteorologicznych ilustruje rysunek 1, na którym przedstawiono wielkość opadu i temperatury powietrza na stacji IMGW w Białowieży w okresie 1948–2016 (Malzahn i Pierzgalski, 2016). Trend opadu był w tym okresie lekko malejący, natomiast trend temperatury powietrza wzrastający, co znacznie wpłynęło na pogarszanie się warunków wodnych.



Rysunek 1. Trendy opadu i temperatury powietrza na stacji IMGW w Białowieży w okresie 1948–2016

Efektywność systemów melioracyjnych zależy od dostosowania ich zadań do aktualnych charakterystyk klimatycznych i wymagań środowiskowych. W celu ochrony zasobów wodnych każdy system melioracyjny pełniący obecnie tylko funkcję odwadniającą powinien być uzupełniony o urządzenia piętrzące, umożliwiające zahamowanie lub spowalnianie odpływu wody w celu złagodzenia skutków jej niedoboru w okresach posusznych. Warunkiem prawidłowego funkcjonowania urządzeń melioracyjnych jest ich sys-

tematyczna konserwacja. Częstotliwość, okres realizacji i zakres prac utrzymaniowych należy dostosować do aktualnych warunków wodnych oraz do wymogów ochrony przyrody.

Określenie tendencji zmian warunków wodnych wymaga prowadzenia systematycznego monitoringu w dłuższym okresie. Lokalizacja i liczba punktów obserwacyjnych zależą od wielu czynników. Kryterium ich doboru jest zmienność przestrzenna warunków siedliskowych oraz znaczenie czynnika wodnego dla ekosystemu leśnego. Miarą oceny kierunkowych zmian warunków wodnych jest odchylenie mierzonego parametru, np. głębokości położenia zwierciadła wody gruntowej, od wartości średniej w miarodajnym okresie obserwacyjnym.

Współczesne funkcje systemów melioracyjnych w lasach nie powinny być ograniczane tylko do regulacji stosunków wodnych, ale odpowiednio zaprojektowane i eksploatowane mogą odgrywać istotną funkcję retencyjną dzięki spowalnianiu odpływu wody z siedlisk leśnych. Powinny być także elementem gospodarki wodnej w zlewni rzecznej, w tym w ochronie przed powodzią i suszą (Pierzgalski i Tyszka, 2016).

Przedsięwzięcia retencyjne

Rozwój na większą skalę inwestycji retencyjnych w lasach od początku lat 90. XX wieku wiąże się ze zmianami warunków pogodowych, kształtujących coraz częściej występujące niedobory wodne. Dyrektor Generalny Lasów Państwowych zatwierdził dokument, który miał na celu wdrożenie zasad trwale zrównoważonej gospodarki leśnej: „Wytyczne w sprawie doskonalenia gospodarki leśnej na podstawach ekologicznych” (1995). Ważne było także porozumienie zawarte w 1995 roku między Ministerstwem Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa a Ministerstwem Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej w sprawie współpracy w zakresie programu małej retencji, na podstawie którego odstąpiono od zalesiania bagien i nieużytków. W 1997 roku opracowano „Zasady planowania i realizacji małej retencji w lasach państwowych”.

Mała retencja w lasach obejmuje szeroką gamę różnego typu działań technicznych i nietechnicznych. Zwiększenie zasobów wodnych można osiągnąć poprzez zmniejszenie ilości wody zużywanej przez las, spowolnienie odpływu wody w ciekach i rowach, zwiększenie zdolności retencyjnych gleb

leśnych oraz zwiększenie zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Zmniejszenie ilości wody zużywanej przez las oraz zwiększenie ilości wody zatrzymywanej w strefie aeracji gleb leśnych osiąga się przede wszystkim za pomocą gospodarki leśnej, a w tym poprzez zalesienia, dobór odpowiednich gatunków drzew, metod przygotowania gleb do zalesień, technologii wykonywania prac hodowlanych itp. Z kolei zwiększenie zasobów wód powierzchniowych i podziemnych uzyskuje się głównie metodami inżynierii wodnej z wykorzystaniem osiągnięć inżynierii ekologicznej, czyli poprzez renaturyzację mokradeł śródleśnych, urządzenia regulujące odpływ wody w korytach cieków i rowach, zbiorniki wodne.

Specyfika obiektów małej retencji w lasach wynika z zadań, które mają pełnić. Powinny być projektowane kompleksowo w ujęciu zlewniowym, pomimo że są zwykle obiektami małymi. O ich oddziaływaniu decyduje nie wielkość, ale liczba urządzeń w zlewni, co odpowiada zasadzie rozproszonego ryzyka. Obiekty te pełnią głównie funkcje ekologiczne i z założenia są działaniami przyjaznymi dla środowiska. Niemniej jednak każdy projekt musi uwzględniać specyfikę ekosystemu leśnego i zostać poddany ocenie skutków inwestycji: zarówno pozytywnych, jak i negatywnych. Przy określeniu kierunku i zakresu przedsięwzięć retencyjnych ważne są ocena stanu warunków wodnych oraz stan ekosystemu leśnego. Ingerencja w warunki wodne terenów leśnych nie powinna negatywnie wpływać na walory przyrodnicze lasu, a w szczególności na trwałość i różnorodność biologiczną ekosystemów leśnych. Przy projektowaniu obiektów małej retencji na obszarach leśnych należy stosować nieskomplikowane konstrukcje budowlane, które można wykonać przy użyciu prostych środków oraz zastosowaniu materiałów miejscowych. Urządzenia powinny być trwałe i funkcjonować z możliwie minimalnym zakresem prac eksploatacyjnych.

Dostrzegając trend zmniejszania się zasobów wodnych, Lasy Państwowe już w połowie lat 90. XX wieku rozpoczęły realizację urządzeń retencyjnych (Zabrocka, 2008). Łącznie w latach 1998–2005 wykonano 1124 zbiorniki retencyjne o średniej pojemności poniżej 10 tys. m³ i powierzchni 1,2 ha. Z kolei budowle piętrzące to głównie zastawki, progi i małe jazy, czy bystrotoki. W latach 1998–2005 wykonano 2216 obiektów piętrzących. Środki finansowe na realizację tych inwestycji uzyskano głównie z Lasów Państwowych oraz WFOŚiGW, EkoFunduszu, NFOŚiGW oraz źródeł zagranicznych.

Programy małej retencji były wówczas opracowywane dla poszczególnych nadleśnictw, a niektóre obejmowały tereny kilku nadleśnictw.

W 2006 roku pod kierunkiem Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych opracowano dwa projekty retencyjne obejmujące tereny nizinne i górskie realizowane w okresie 2008–2015:

- „Zwiększanie możliwości retencyjnych oraz przeciwdziałanie powodzi i suszy w ekosystemach leśnych na terenach nizinnych”,
- „Przeciwdziałanie erozji wodnej na terenach górskich związanej ze spływem wód opadowych. Utrzymanie potoków górskich i związanej z nimi infrastruktury w dobrym stanie”.

W pierwszym z ww. projektów, dotyczącym lasów nizinnych, uczestniczyło 175 nadleśnictw z 17 Regionalnych Dyrekcji Lasów Państwowych. Wykonano w nim łącznie 3644 obiekty retencyjne. W drugim projekcie, obejmującym tereny górskie, udział brało 55 nadleśnictw z 4 Regionalnych Dyrekcji Lasów Państwowych, a wykonano 3553 obiekty, w tym 130 zbiorników.

W latach 2014–2020 PGL Lasy Państwowe zrealizowały obiekty retencyjne i zabezpieczające przed destrukcyjnym działaniem wody w ramach dwóch projektów współfinansowanych z Programu Operacyjnego „Infrastruktura i Środowisko”:

- „Kompleksowy projekt adaptacji lasu i leśnictwa do zmian klimatu – mała retencja oraz przeciwdziałanie erozji na terenach nizinnych”,
- „Kompleksowy projekt adaptacji lasu i leśnictwa do zmian klimatu – mała retencja oraz przeciwdziałanie erozji na terenach górskich”.

W projekcie „nizinny” uczestniczyło 113 nadleśnictw; wykonano 1181 urządzeń retencyjnych, w tym 363 zbiorniki. Projekt „górski” realizowało 47 nadleśnictw; wykonano 1086 obiektów, w tym 235 zbiorników. Obecnie Lasy Państwowe kontynuują projekty retencyjne w ramach Programu FEniKS 2021–2027. Ich celem jest wzmocnienie odporności na zagrożenia związane ze zmianami klimatu w nizinnych i górskich ekosystemach leśnych. Planuje się wykonanie 1151 obiektów w projekcie „nizinny” i 1088 obiektów w projekcie „górskim”.

Prowadzone przez PGL Lasy Państwowe inwestycje retencyjne ze względu na ich organizację i liczbę obiektów uznawane są za unikatowe w Europie i mogą być wzorem do naśladowania.

Ochrona mokradeł

Mokradła są uważane za typy ekosystemów najbardziej narażone na przewidywane zmiany klimatu (European Environment Agency, 2010). Ponadto, nie bez znaczenia są sposoby zagospodarowania mokradeł, które kształtują ich różnorodność gatunkową i właściwości siedlisk, w tym w szczególności dotyczy to rolnictwa i leśnictwa. Działalność rolnicza na kontynencie Europejskim od ponad 1000 lat, w tym związane z tym wylesienia, osuszanie torfowisk i regulacja rzek, skutkowały masową utratą naturalnych mokradeł. Verhoeven (2014) wskazuje, że w Europie wskutek gospodarki rolnej i leśnej zanikło 80% zasobów mokradeł, a większość z tych obszarów utracono bezpowrotnie tylko w ostatnim stuleciu. Z racji ekologicznych funkcji mokradeł, w tym bezpośrednio związanych z jakością życia i dostępnością wody na potrzeby człowieka, ich ochrona jest kluczowym elementem strategii i programów w różnej skali. Lasy Państwowe od lat 90. ubiegłego wieku podjęły realizację obiektów retencyjnych, służących m.in. spowolnieniu odpływu wód z terenów zalesionych i poprawie stanu mokradeł (Czerepko i Tabor, 2023).

Najcenniejsze i najbardziej naturalne mokradła podlegają ochronie od 1971 roku w ramach konwencji ramsarskiej. Do listy takich obszarów zgłoszono 19 polskich obiektów, których powierzchnia wynosi 153 tys. ha (ramsar.org) i podlegają one ochronie prawnej. Wprawdzie torfowiska w Polsce stanowią cel ochrony w 30% rezerwatów przyrody, jednak ich powierzchnia obejmuje tylko 1,6% ogólnego areału torfowisk (Żurek, 2006).

Ponadto, wszystkie typy naturalnych mokradeł leśnych, poza olsami, znalazły się w Załączniku I dyrektywy siedliskowej (92/43 EWG). Skutkuje to tym, iż w ramach sieci Natura 2000 wyznacza się dla tych siedlisk specjalne obszary ochrony, w których mokradła podlegają identyfikacji i monitoringowi oraz działaniom konserwatorskim w ramach planów ochrony lub zadań ochronnych.

Realizowana od 2024 roku inicjatywa Ministerstwa Klimatu i Środowiska, mająca na celu zwiększenie liczby i powierzchni rezerwatów przyrody na gruntach w zarządzie Lasów Państwowych, jako element wdrażania unijnej strategii na rzecz bioróżnorodności 2030 (COM/2020/380), przyczyni się do wzrostu poziomu ochrony najcenniejszych fragmentów lasów w Polsce. Tym samym nowe rezerwaty przyrody zwiększą udział obszarów chronio-

nych w Polsce, w tym mokradeł. Wytyczne i rekomendacje Ogólnopolskiej Rady o Lasach (ONoL) zawierają kryteria wyłączeń drzewostanów z użytkowania, które obejmują lasy na siedliskach bagiennych i łęgowych, na bagnach śródlęśnych, obszarach zalewanych wskutek działalności górniczej i przez bobry oraz lasy na stromych stokach lub w wąwozach o nachyleniu terenu $\geq 30^\circ$, a w krainach przyrodniczo-leśnych I–VI również o nachyleniu $\geq 20^\circ$ i $< 30^\circ$. Podobnie, jak w standardzie FSC (Forest Stewardship Council, 2010) i w wytycznych ONoL, lasy w buforze 30 m od brzegu cieków naturalnych, zbiorników wodnych (naturalnych i sztucznych na wodach płynących) oraz źródeł powinny zostać wyłączone z użytkowania (Ministerstwo Klimatu i Środowiska, 2024).

W celu ochrony mokradeł Lasy Państwowe, instytucje naukowe, a także organizacje społeczne realizują wiele projektów krajowych i międzynarodowych. Jako przykłady ważniejszych projektów można wymienić:

- „Odtworzenie oraz zachowanie obszarów bagiennych, torfowisk i terenów podmokłych na obszarach Natura 2000 i Zielonej Infrastruktury” (WETLANDS-GREEN-LIFE 2022–2032).

Program jest prowadzony przez Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej we współpracy z Generalną Dyрекcją Ochrony Środowiska oraz Uniwersyteciem Rolniczym w Krakowie. Projekt obejmuje wszystkie siedliska torfowisk, bagien i terenów podmokłych na terenie Polski ujęte w Załączniku I dyrektywy siedliskowej, tj.: bagna, torfowiska i inne obszary podmokłe. W ramach projektu planowane są działania renaturyzacyjne, konserwacja, odtworzenie urządzeń regulujących stan wody oraz opracowanie kart informacyjnych z określeniem stanu tych siedlisk.

- „Przywracanie funkcji i poprawa stanu siedlisk hydrogenicznych na terenach pozostających w zarządzie PGL LP na obszarach Natura 2000 i Zielonej Infrastruktury” (GMOK–Globalnie MOKradła 2024–2029).

Program realizują PGL Lasy Państwowe we współpracy z Biurem Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej. Celem projektu jest poprawa stanu siedlisk hydrogenicznych w aspekcie zmian klimatu. Potencjalna powierzchnia siedlisk objęta zakresem projektu wynosi około 200 000 ha.

- „Lasy dla mokradeł – ochrona siedlisk hydrogenicznych na obszarach cennych przyrodniczo” (2025–2029).

Program jest kierowany przez Centrum Koordynacji Projektów Środowiskowych Lasów Państwowych. Projekt realizowany jest na terenie 120 nadleśnictw z 17 RDLP na łącznej powierzchni 10 450 ha. Partnerami projektu są Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu i Centrum Ochrony Mokradeł.

Plany gospodarowania wodą w nadleśnictwie

W ramach realizacji inwestycji melioracyjnych już w latach 50. ubiegłego wieku, oprócz dokumentacji projektowej, wykonywano ekspertyzy przedmelioracyjne oraz tzw. aneks melioracyjny, który był załącznikiem do planu urządzania lasu. Określano w nim potrzeby regulacji stosunków wodnych w nadleśnictwie. W późniejszym okresie zaniechano wykonywanie aneksów melioracyjnych, jednakże wobec coraz bardziej odczuwalnych zmian klimatycznych wskazywano na potrzebę wykonywania planów gospodarowania wodą. Sugestie takie przedstawiano m.in. na sympozjum zorganizowanym przez Polskie Towarzystwo Leśne (Wiśniewski, 1998). Pomimo słusznych wniosków dotyczących planów gospodarowania wodą w nadleśnictwie, działania w tej sprawie nie zostały wówczas podjęte.

Do problemu wykonywania planów gospodarowania wodą powrócono, gdy na coraz większej powierzchni lasów zaczęły występować niedobory wody, zwiększyła się częstotliwość zjawisk ekstremalnych w postaci susz i powodzi, a także pojawiły się długoterminowe prognozy zwiększania się temperatury powietrza. Susze, inicjujące choroby drzew z ich wymarciem włącznie, spowodowały konieczność podjęcia licznych programów retencyjnych, gdyż ochrona zasobów wodnych w lasach jest konieczna dla zabezpieczenia trwałego istnienia lasu, a także do pełnienia przez niego zarówno produkcyjnych, jak i niezmiennie ważnych funkcji pozaprodukcyjnych.

W 2014 roku Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych zleciła Instytutowi Badawczemu Leśnictwa realizację tematu badawczego BLP-414 pt. „Metodyczne podstawy opracowania i wdrażania planu gospodarowania zasobami wodnymi w lasach nizinnych w skali nadleśnictwa”. Temat został zrealizowany w latach 2014–2017 przez konsorcjum składające się z Instytutu Badawczego Leśnictwa oraz Biura Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej Oddział w Brzegu przy współpracy BIPROMEL-u w Warszawie oraz Pracowni Żywokost w Suszcu (Pierzgalski i in., 2017).

Głównym celem tematu było opracowanie metodycznych podstaw planu gospodarowania wodą na terenach leśnych z uwzględnieniem zadań ochronnych i gospodarczych. W ramach projektu została wykonana szczegółowa instrukcja wykonywania i wdrażania planów gospodarowania zasobami wodnymi w nadleśnictwach Lasów Państwowych w lasach nizinnych. Celem szczegółowym było wykonanie przykładowych planów gospodarowania wodą dla dwóch wybranych nadleśnictw: Ruszowa i Pieńska. Nadleśnictwa te są zlokalizowane na obszarze dwóch zlewni rzek V rzędu:

- Żółtej Wody (powierzchnia zlewni 7742 ha, lesistość 96%) przepływającej przez dwa sąsiadujące ze sobą nadleśnictwa Ruszów i Pieńsk,
- Bielawki (powierzchnia zlewni 6780 ha, lesistość 53%), której zlewnia znajduje się całkowicie w Nadleśnictwie Pieńsk.

Jakkolwiek struktura i elementy planów gospodarowania wodą mogą być zróżnicowane i uwzględniać lokalną specyfikę warunków środowiskowych i ukierunkowania gospodarki leśnej, to jako podstawowe elementy planu można wyróżnić (Bańkowski, Pierzgalski, 2022):

- analizy uwarunkowań środowiskowych w zlewni z uwzględnieniem planu urządzenia lasu, problemów związanych z wodą, dostosowania gospodarki wodnej do zadań ochrony przyrody, ekonomicznych aspektów wdrażanego projektu,
- prace terenowe i kameralne, obejmujące m.in. inwentaryzację infrastruktury wodnej, ocenę jej stanu technicznego, określenie wielkości i jakości zasobów wodnych w analizowanej zlewni, możliwości ich wykorzystania i ewentualnie zwiększenia, opracowanie projektu technicznego i analizę ekonomiczną projektu,
- eksploatację i konserwację urządzeń wodnych, uwzględnienie zadań ochronnych, prowadzenie monitoringu efektów hydrologicznych i środowiskowych wdrażanego projektu.

Zgodnie z celem zrealizowanego tematu badawczego BLP-414, uzyskane w nim wyniki zostały wykorzystane do opracowania „Instrukcji sporządzania planu gospodarowania zasobami wodnymi w lasach” stanowiącej część IIB „Instrukcji zarządzania lasu”, która na podstawie Zarządzenia Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych nr 116 z dnia 14 grudnia 2023 roku obowiązuje w jednostkach organizacyjnych Lasów Państwowych od 1 stycznia 2024 roku.

Wnioski

1. Poważnym zagrożeniem dla ekosystemów leśnych obecnie i w przyszłości są niedobory wody, które są skutkiem wzrostu temperatury powietrza, zwłaszcza w okresach zimowych, zwiększającej się częstotliwości występowania susz, a także stanu i eksploatacji infrastruktury wodnej. Najbardziej zagrożone są ekosystemy najbardziej od wody zależne na siedliskach wilgotnych i bagiennych. Prognozy dalszych zmian klimatycznych, a także konieczność ochrony ekosystemów szczególnie cennych, jakimi są np. lasy łęgowe, determinują działania zapobiegające ich przesuszaniu.
2. Większość zdegradowanych siedlisk bagiennych i łęgowych w lasach wymaga dalszych pilnych działań dotyczących zachowania lub też odtworzenia warunków siedliskowych zbliżonych do naturalnych, jakkolwiek kształtowanie składu gatunkowego drzewostanów powinno być dostosowane do przewidywanych zmian klimatu, jak i utrzymania ich usług ekosystemowych.
4. Oprócz zagrożeń naturalnych lasów należy zwrócić uwagę na antropogeniczną ingerencję w naturalny obieg wody. Trwałe zmiany warunków wodnych na obszarach leśnych mogą powodować np. urządzenia odwadniające, obiekty hydrotechniczne (budowle i zbiorniki wodne), regulacje rzek, wały przeciwpowodziowe.
5. Wszystkie odwadniające systemy melioracyjne powinny być przystosowane do pełnienia funkcji regulowanego odpływu. Systemy odwadniające w niektórych sytuacjach pełnią pozytywną funkcję, jeśli jednak nie ma możliwości zamknięcia lub zahamowania odpływu, to niesterowalne systemy odwadniające mogą powodować przesuszenia i deficyt wody w okresach posusznych. Ponadto, melioracje wodne powinny zostać włączone w system gospodarowania wodą w zlewni, pełniąc istotną rolę w ochronie przed powodzią, ochronie środowiska oraz w ograniczaniu emisji gazów cieplarnianych.
6. Realizacja planowanych inwestycji wodnych, zwłaszcza retencyjnych, a także modernizacja, konserwacja i eksploatacja istniejącej infrastruktury wodnej wymagać będzie znaczącego zwiększenia nakładów finansowych – nie tylko inwestycyjnych, ale także na eksploatację i utrzymanie tych obiektów.

7. Wskazane jest opracowanie w nadleśnictwach planów gospodarowania wodą (w ujęciu zlewniowym), obejmujących m.in. inwentaryzację infrastruktury wodnej, studium hydrologiczne, zakres eksploatacji i konserwacji urządzeń wodnych, a także planowane dalsze przedsięwzięcia oraz prowadzenie monitoringu hydrologicznego, umożliwiającego identyfikację zmian warunków wodnych.
8. Plany gospodarowania wodą powinny uwzględniać przewidywane zmiany w gospodarowaniu lasem zgodnie z planami urządzania lasu, a także związane z adaptacją do zmian klimatu i wpływem działalności antropogenicznej. Dobór metod i sposobów gospodarowania wodą w lasach powinien uwzględniać koszt eksploatacji i konserwacji infrastruktury wodnej.

Literatura

- Aranda, I., Forner, A., Cuesta, B., Valladares, F. (2012). *Species-specific water use by forest tree species: From the tree to the stand*. Agricultural Water Management, 114, 67–77.
- Babiński, S. (1987). *Dostosowanie systemów melioracji wodnych do siedliskowych typów lasu*. Materiały Sympozjum IB: Współczesne problemy inżynierii leśnej cz. III: Melioracje wodne w lasach, 145–154.
- Babiński, S., Białkiewicz, F., Krajewski, T. (1989). *Melioracje wodne w lasach i ich wpływ na warunki siedliskowe*. Sylwan, 45–52.
- Bańkowski, J., Pierzgański, E. (2022). *Plan gospodarowania wodą w lasach w aspekcie zmian klimatu*. W: Zimowa Szkoła Leśna, Skrzecz I., K. Sikora (red.), Wpływ zmian klimatu na środowisko leśne, Wydawnictwo IBL, 419–436.
- Błońska, E., Klammerus-Iwan, A., Łagan, S., Lasota, J. (2018). *Changes to the water repellency and storage of different species of deadwood based on decomposition rate in a temperate climate*. Ecohydrology, 11, e2023.
- Boczoń, A., Jabłoński, T. (2019). *Występowanie susz na terenach leśnych i zagrożenia przez nie powodowane*, Postępy Techniki w Leśnictwie, 144, 57–65.
- Boczoń, A., Zachara, T. (2022). *Wpływ różnych metod trzebieży na zasoby wodne gleby i ryzyko suszy glebowej w drzewostanach sosnowych*. Sylwan, 166 (6), 390–402.
- Brzezicki, B. (2021). *Zmiany klimatu i ich następstwa dla ekosystemów leśnych*. Wydawnictwa Instytutu Problemów Współczesnej Cywilizacji, LXXIII, 29–43.
- Calder, I.R., Reid, I., Nisbet, T., Green, J.C. (2003). *Impact of lowland forests in England on water resources – application of the HYLUC model*. Water Resources Research, 39, 1319–1328.

- Chiti, T., Rey, A., Abildtrup, J., Böttcher, H., Diaci, J., Frings, O., Lehtonen, A., Schindlbacher, A., Zavala, M.A. (2024). *Carbon farming in the European forestry sector. From Science to Policy*, 17. European Forest Institute.
- Czerepko, J., Boczoń, A., Wróbel, M., Gawryś, R., Sokołowski, K. (2018). *Removal of birch as a means of protecting raised bog mossy vegetation Ledo-Sphagnetum magellanici*. *Wetlands Ecology and Management* 26, 689–702.
- Czerepko, J., Tabor, J. (2023). *Wpływ zmian klimatu na mokradła leśne i możliwości ich ochrony*. W: Materiały z XII Sesji Zimowej Szkoły Leśnej: Wpływ zmian klimatu na środowisko leśne. IBL, Sękocin Stary, 397–417.
- Dyderski, M., Paż-Dyderska, S., Jagodziński, A.M., Puchalka, R. (2025). *Shifts in native tree species distributions in Europe under climate change*. *Journal of Environmental Management*, Volume 373, January 2025.
- Ellison, D., Morris, C.E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., Noordwijk, M., Creed, I.F., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D.V., Tobella, A.B., Ilstedt, U., Teuling, A.J., Gebrehiwot, S.G., Sands, D.C., Muys, B., Verbist, B., Springgay, E., Sugandi, Y., Sullivan, C.A. (2017). *Trees, forests and water: Cool insights for a hot world*. *Global Environmental Change*, 43, 51–61.
- European Environment Agency (2010). *Climate change and biodiversity*. 1–11.
- Forest Stewardship Council (2010). *Zasady, Kryteria i Wskaźniki Dobrej Gospodarki Leśnej w Polsce*. Maszynopis. s. 35.
- IPCC (2021). *Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- IPCC (2022). *Climate Change 2022. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Johnson, R.C. (1995). *Effects of upland afforestation on water resources: The Balquhinder Experiment 1981–1991*. Institute of Hydrology Report No. 116 (2nd ed.). Institute of Hydrology, Wallingford.
- Kundzewicz, Z.W., Zalewski, M., Kędziora, A., Pierzgalski, E. (2010). *Zagrożenia związane z wodą*, Nauka, 4, 87–96.
- Kundzewicz, Z.W., Piniewski, M., Mezghani, A., Okruszko, T., Pińskwar, I., Kardel, I., Hov, Szcześniak, M., Szwed, M., Benestad, R.E., Marcinkowski, P., Graczyk, D., Dobler, A., Førland, E.J., O’Keefe, J., Choryński, A., Parding, K.M., Haugen, J.E. (2018). *Assessment of climate change and associated impact on selected sectors in Poland*. *Acta Geophysica*, 66, 1509–1523.
- Malzahn, E., Pierzgalski, E. (2016). *Dotychczasowe zmiany warunków środowiska i ich wpływ na ekosystemy wraz z prognozą na przyszłość Puszczy Białowieskiej*. Instytut Badawczy Leśnictwa. Maszynopis, 1–21.

- Ministerstwo Klimatu i Środowiska (2024). *Wzmocnienie ochrony lasów cennych przyrodniczo i ważnych społecznie*. Wytyczne i rekomendacje Ogólnopolskiej Narady o Lasach. Projekt. MKiŚ, Warszawa, 1–83.
- Naczelny Zarząd Lasów Państwowych (1976). *Wytyczne dotyczące melioracji wodnych w lasach państwowych w latach 1975–1980*. Warszawa.
- Naczelny Zarząd Lasów Państwowych (1987). *Podstawy i zasady melioracji wodnych w lasach*. Warszawa.
- PGL Lasy Państwowe (2023). *Kompleksowy program przeciwdziałania procesom zamierania lasów w Polsce oraz działania mitygacyjne w perspektywie do 2030 roku*, ss. 85.
- Pierzgalski, E., Kucharska, K., Wróbel, M., Tyszka, J. (2005). *Water outflow from catchments in West Sudeten under forest restoration conditions*. W: Protection of soil and water resources in forestry areas. Forest Research Institute, Warsaw, 75–84.
- Pierzgalski, E. (2009). *Woda w ekosystemach leśnych*. Wydawnictwa Instytutu Problemów Współczesnej Cywilizacji, XLIV, 41–55.
- Pierzgalski, E., Tyszka, J. (2016). *Współczesne funkcje infrastruktury wodnej w lasach*. W: W. Gil (red.), *Zagrożenia lasu oraz jego funkcji – przyczyny, konsekwencje i szanse dla gospodarki leśnej*. Wydawnictwo IBL, 311–326.
- Pierzgalski, E., Janek, M., Mańk, K., Stolarczyk, M., Stolarek, A., Tyszka, J., Bańkowski, J., Bloch, Ł., Cichecki, Ł., Rosiński, T., Sroga, R., Wiśniewski, S., Marszałek, M., Szendera, W., Lipus, A. (2017). *Metodyczne podstawy opracowania i wdrażania planu gospodarowania zasobami wodnymi w lasach nizinnych w skali nadleśnictwa*. IBL, maszynopis, s. 190.
- Pommerening, A., Widman, U., Szmyt, J. (2025). *The origin and beginnings of modern Continuous Cover Forestry in Europe*. Forest Ecosystems, 14, 100348.
- Roberts, J.M. (1983). *Forest transpiration: a conservative hydrological process?* Journal of Hydrology, 66, 133–141.
- Wiśniewski, S. (1998). *Plan gospodarowania zasobami wodnymi w lasach (zakres i rola dla nadleśnictwa)*. W: Materiały z sympozjum PTL i SGGW: Rola planu inżynierskiego zagospodarowania lasu w wielofunkcyjnej zrównoważonej gospodarce leśnej. Warszawa, 55–58.
- Verhoeven, J.T.A. (2014). *Wetlands in Europe: Perspectives for restoration of a lost paradise*. Ecological Engineering, 66, 6–9.
- Zabrocka-Kostrubiec, U. (2008). *Mała retencja w lasach państwowych – stan i perspektywy*. Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej, 10, 1(18), 55–63.
- Żurek, S. (2006). *Katalog rezerwatów przyrody na torfowiskach Polski*. Kielce: Wydawnictwo Akademii Świętokrzyskiej.

ROLNICTWO KLIMATYCZNIE INTELIGENTNE JAKO ODPOWIEDŹ NA STRES WODNY

JERZY KOZYRA, JACEK NIEDŹWIECKI, RAFAŁ WAWER

Wprowadzenie

Zmiany klimatyczne odbijają się na wielkości i jakości dostępnych zasobów wodnych, w tym ważnych dla rolnictwa. Odpowiedzią na ten stan jest koncepcja **Climate-Smart Agriculture (CSA)**, tj. rolnictwa klimatycznie inteligentnego. Punktem wyjścia jest wielowariantowa prognoza skutków zmian klimatycznych, ocena ich oddziaływania na działalność rolniczą teraz i w przyszłości oraz uznanie, że dobrą odpowiedzią na niedobory wody jest gospodarka obiegu zamkniętego (dotycząca materii – w tym wody – oraz energii). Kolejnym komponentem jest rozwój technologii adaptacyjnych, w tym materiałowych i informacyjnych (monitoring i sterowanie).

W rozdziale omówiono scenariusze zmian klimatu i ich wpływ na charakter zasobów wodnych dostępnych dla rolnictwa w Polsce, przedstawiono kluczową kwestię retencji wodnej gleb i sposoby jej zwiększania poprzez różnego rodzaju działania agrotechniczne oraz – w perspektywie rozwoju nawodnień upraw rolnych – opisano innowacyjne wdrożenia monitoringu i sterowania nawodnieniami. Tekst bazuje na doświadczeniach i pracach naukowo-badawczych realizowanych w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach.

Zmiana klimatu a zarządzanie wodą w rolnictwie

Obserwowane w XX i XXI wieku globalne ocieplenie atmosfery spowodowane działalnością człowieka, wraz z prognozowanym dalszym wzrostem temperatury, w coraz większym stopniu będzie oddziaływać na zasoby wodne dostępne dla rolnictwa. Wpływ globalnego ocieplenia przejawia się zarówno w modyfikacji ilości opadów atmosferycznych, ich rozkładu czasowego, jak i w zwiększeniu ich intensywności. Wzrost temperatury atmosfery powoduje zwiększenie ewapotranspiracji, co w konsekwencji prowadzi do szybszego wyczerpywania zasobów wody dostępnej dla roślin w profilu glebowym a w rezultacie do suszy rolniczej. W literaturze przedmiotu zjawisko pojawiania się suszy potęgowane wpływem fali upałów określa się mianem suszy błyskawicznej (*flash droughts*) (Toreti, 2024). Dodatkowym czynnikiem destabilizującym bilans wodny gleb w strefie umiarkowanych szerokości geograficznych jest zanikanie pokrywy śnieżnej, które ogranicza zimową akumulację wody oraz zasilanie zasobów glebowych (Hyman-Rabeller, 2023). Czynniki pozaklimatycznymi mającymi wpływ na dostępność wody dla roślin, które również mogą się nasilić, są nadmierny pobór wód do nawadniania upraw i zmiany w użytkowaniu gruntów. W konsekwencji zmian zarówno czynników klimatycznych, jak i pozaklimatycznych kształtujących bilans wodny gleb dostępność wody wykorzystywanej w rolnictwie w najbliższych latach może znacząco się zmienić (FAO, 2013).

Scenariusze zmiany klimatu XXI wieku – podstawowy czynnik

Globalne ocieplenie atmosfery prowadzi do intensyfikacji cyklu hydrologicznego poprzez zwiększone parowanie, ale i poprzez zwiększenie zdolności atmosfery do zatrzymywania pary wodnej. Wzrost średniej temperatury powierzchni Ziemi o 1°C powoduje około 7-procentowy wzrost pojemności wodnej atmosfery, co ma doprowadzić do redystrybucji zasobów wodnych w wyniku większej wodności chmur. Jednak związki te są nieliniowe, dlatego wskazuje się, że to zmiany w cyrkulacji atmosferycznej, określone przez wymuszenie radiacyjne, zdeterminują zmiany termiczne a w konsekwencji wpływ na cykl hydrologiczny (Allan i in., 2020).

Międzyrządowy Panel ds. Zmian Klimatu w Szóstym Raporcie (IPCC, 2021) rozpatruje pięć możliwych scenariuszy klimatycznych w XXI wieku,

nazwanych scenariuszami SSP (Shared Socioeconomic Pathways, czyli Wspólnej Ścieżki Społeczno-Ekonomicznej). Realizacja konkretnego scenariusza jest zależna od tempa rozwoju gospodarczego oraz wdrażania technologii i polityk dotyczących redukcji emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Scenariusz szybkiej redukcji, stabilizujący klimat globalny na poziomie wzrostu $1,5^{\circ}\text{C}$ po 2050 r., określono jako SSP1-1.9, wskazując w nazwie na przewidywane wymuszenie radiacyjne na poziomie $1,9 \text{ W/m}^2$. Scenariusz SSP2-4.5 zakłada umiarkowany wzrost emisji i brak osiągnięcia neutralności do 2100 r., natomiast scenariusz SSP5-8.5 przyjmuje brak redukcji emisji i szybki wzrost gospodarczy oparty na paliwach kopalnych. Według wskazań raportu, w planowaniu adaptacji nie należy zakładać realizacji konkretnego scenariusza, a raczej rozpatrywać różne warianty rozwoju sytuacji klimatycznej. W kontekście planowania i analiz oznacza to, że założenie jednego „najbardziej prawdopodobnego” scenariusza może być mylące. Lepiej pracować z kilkoma scenariuszami (np. scenariuszem umiarkowanej, wysokiej i niskiej emisji) i analizować konsekwencje różnych działań. Choć według analiz realizacja dwóch pierwszych scenariuszy SSP staje się coraz mniej prawdopodobna wobec już obserwowanego ocieplenia, pozostają one kluczowymi punktami odniesienia w polityce klimatycznej i planowaniu

Tabela 1. Zmiany opadów, ewapotranspiracji i ryzyka suszy w scenariuszach SSP (IPCC, 2021)

Scenariusz (SSP)	Opady atmosferyczne (globalnie/Europa/Polska)	Ryzyko suszy (globalnie/Europa/Polska)
SSP1-1.9 $1,5^{\circ}\text{C}$	Niewielki wzrost globalnych opadów (+1–3%). Europa Płn. wilgotniejsza, Polska: +5–10% zimą, lekki spadek latem.	Stabilizacja ryzyka suszy po 2050 r. Polska: możliwe krótkie susze letnie bez trwałego trendu wzrostowego.
SSP1-2.6 $1,8^{\circ}\text{C}$	Opady +2–4%. Europa Płn. wilgotniejsza, Płd. bardziej sucha. Polska: wzrost zimą, spadek letni (–5%).	Susze częstsze lokalnie. Polska: większe ryzyko susz glebowych w drugiej połowie XXI w.
SSP2-4.5 $2,7^{\circ}\text{C}$	Opady +4–6%, silne zróżnicowanie regionalne. Polska: +10% zimą, –10–15% latem.	Susze częstsze i dłuższe. Polska: wzrost częstotliwości susz letnich o 30–50% względem lat 1971–2000.
SSP3-7.0 $3,6^{\circ}\text{C}$	Silny kontrast – tropiki bardziej wilgotne, strefy umiarkowane suchsze. Polska: lato suche (–15–25%), zima wilgotniejsza (+10%).	Powszechne susze hydrologiczne i rolnicze. Polska: dłuższe i intensywniejsze susze.
SSP5-8.5 $4,4^{\circ}\text{C}$	Opady +7–8%, ale większość łądów suchsza (intensywne parowanie). Polska: spadek letnich opadów o 20–40%.	Ekstremalne susze globalne i regionalne. Polska: wzrost częstotliwości susz nawet o 100% względem XX w.

adaptacyjnym. W tabeli 1 zebrano informacje dotyczące zmian w opadach atmosferycznych i ryzyku suszy dla scenariuszy klimatycznych, wskazujące, że wraz z realizacją scenariusza o większym wymuszeniu radiacyjnym wzrasta ryzyko suszy, pomimo że wzrasta suma opadów atmosferycznych, co jest efektem zwiększonej ewapotranspiracji (IPCC, 2021).

Klimatyczny bilans wodny (KBW) – tendencje w Polsce

Kluczowym wskaźnikiem charakteryzującym czasowe i przestrzenne zmiany warunków wilgotnościowych dla rolnictwa w Polsce jest wskaźnik klimatycznego bilansu wodnego (KBW), określany jako różnica między sumą opadów atmosferycznych a sumą ewapotranspiracji, wyznaczonej najczęściej z wykorzystaniem metody Penmana lub jej modyfikacji. Wskaźnik KBW jest silnie skorelowany z wpływem warunków suszy na plony (Górski i Doroszewski, 1986; Demindowicz i in., 1997; Doroszewski i in., 1997), dlatego znalazł zastosowanie w Systemie Monitoringu Suszy Rolniczej w Polsce (Doroszewski, 2012).

Średnie sumy KBW w latach 1981–2020 na większości obszaru kraju przyjmowały wartości ujemne, przy czym najniższe – poniżej -250 mm – występowały w centralnej części Polski, natomiast w regionach górskich wartości te były dodatnie. Analiza zmian KBW w kolejnych dekadach badanego okresu wskazuje na tendencję do narastania deficytu opadów atmosferycznych, szczególnie wyraźną w dwóch ostatnich dekadach. Najsilniejszy spadek wartości KBW odnotowano w latach 2011–2020; w centralnej Polsce, na podstawie danych ze stacji Poznań, Kalisz i Koło, stwierdzono deficyt opadów przekraczający 300 mm (Urban i in., 2022). Podobne tendencje wynikają z określenia wzrostu ilości powierzchni uznanych jako region suszy za pomocą wskaźnika klimatycznego bilansu wodnego; wzrósł on z 34% obszaru kraju w okresie 1971–2000 do 52% w okresie 1981–2010 (Ziarnicka-Wojtaszek, 2015).

Model cyrkularny zarządzania wodą w rolnictwie

W perspektywie dalszego globalnego ocieplenia atmosfery i obserwowanej zmiany klimatu coraz większego znaczenia nabiera koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym (*circular economy*). Umożliwia ona zamykanie cykli

materii (w tym wody), energii, ograniczenie strat oraz ponowne wykorzystanie zasobów, co w konsekwencji wzmacnia odporność (*resilience*) systemów agroekologicznych na skutki zmian klimatu. W nawiązaniu do tej idei rozwija się model rolnictwa klimatycznie inteligentnego (**Climate-Smart Agriculture, CSA**), który ukierunkowuje transformację i reorganizację systemów żywnościowych w stronę praktyk środowiskowo zrównoważonych i odpornych na zmiany klimatu. Rolnictwo klimatycznie inteligentne dąży do osiągnięcia trzech wzajemnie powiązanych celów:

- zrównoważonego zwiększania produktywności rolnictwa i dochodów rolników,
- wzmacniania zdolności adaptacyjnych i odporności na zmiany klimatu,
- ograniczania lub eliminowania emisji gazów cieplarnianych tam, gdzie jest to możliwe (UN, 2023).

Wdrażanie praktyk rolnictwa klimatycznie inteligentnego polega m.in. na realizacji różnego rodzaju programów, z których można wymienić projekt **AquaAgrii-Know** (<https://aquagri-know.eu/>), poświęcony szacowaniu efektywności wykorzystania wody (Water Use Efficiency, WUE), poprzez: zrównoważone zarządzanie źródłami wody (opadowej, gruntowej, powtórnie wykorzystywanej) oraz automatyzację i optymalizację infrastruktury wodnej (nawadniania) – komponent S1; inteligentne zarządzanie uprawami w kontekście efektywności wykorzystania wody – komponent S2; regenerację gleby poprzez zwiększenie zawartości materii organicznej i bionawozów oraz ochronę wód gruntowych przed zanieczyszczeniami – komponent S3; technologie zamkniętych systemów wykorzystania wody w gospodarstwach oraz synergie międzysektorowe w przemyśle rolno-spożywczym – komponent S4.

Retencja glebowa, retencja naturalna gleb i sposoby zwiększania retencji

Według badań Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (IUNG), ponad 60% gleb uprawnych w Polsce to gleby lekkie i bardzo lekkie (Tomczyk i in., 2024; Pietrzak i Urbaniak, 2023; Krasowicz i in., 2011), co wynika z faktu, że przeważająca część gleb Polski uformowała się z piaszkowych

osadów polodowcowych. Dominacja gleb piaszczystych, połączona z niską zawartością próchnicy, stanowi główną przyczynę występowania w kraju rozległych obszarów narażonych na okresowe lub trwałe niedobory wody (Wawer i in., 2020).

Retencja glebowa to zdolność gleby do magazynowania wody i stopniowego udostępniania jej roślinom oraz odprowadzania w głąb profili glebowych – jest kluczowym elementem zarządzania zasobami wodnymi, stabilności plonowania i utrzymywania prawidłowego funkcjonowania ekosystemów lądowych. W warunkach zmieniającego się klimatu, z częstszymi okresami suszy i ekstremalnymi opadami, zwiększanie retencji gleby staje się jednym z priorytetów adaptacyjnych w rolnictwie i planowaniu przestrzennym (Smith i in., 2013).

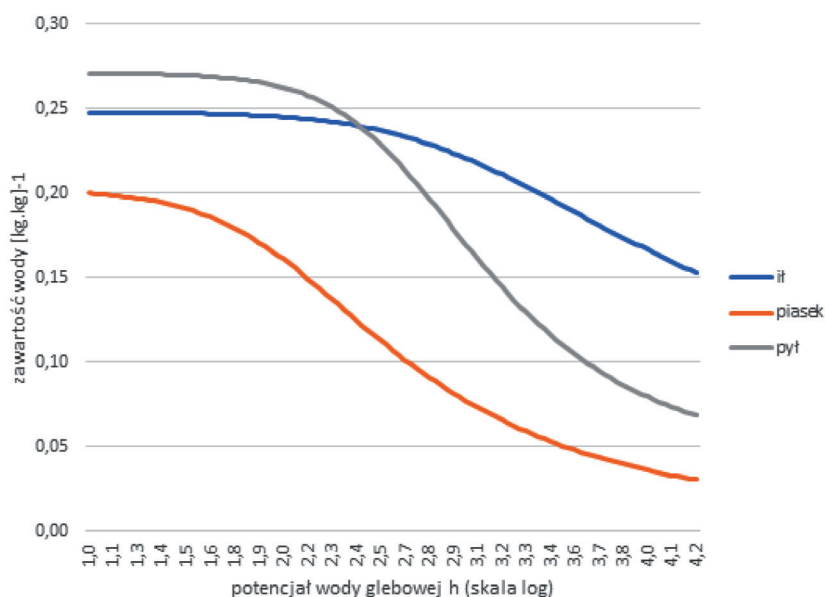
Definicje i podstawy fizyczne

Retencję glebową (wodną) można rozpatrywać na kilku poziomach: maksymalna pojemność wodna gleby – MPW (maksymalna ilość wody utrzymana przy nasyceniu), pojemność połowa – PPW (stan po odpływie grawitacyjnym wody w głąb profilu glebowego), punkt trwałego wędnięcia roślin – PTWR (zawartość wody, przy której następuje trwałe wędnięcie roślin uprawnych). Wodą dostępną dla roślin – WD – określamy różnicę między PPW a PTWR (Witkowska-Walczak, 2000).

Nierozzerwalną składową zdolności do zatrzymywania wody w glebie jest jej **potencjał wodny** (często oznaczany literą ψ), który jest miarą stanu energetycznego wody w glebie. Oznacza to, że woda w glebie ma mniejszą „energię” niż wolna woda, ponieważ jest zatrzymywana przez adsorpcję, napięcie powierzchniowe, siły kapilarne, obecność rozpuszczonych substancji itp. Potencjał wodny określa, ile pracy (na jednostkę masy lub objętości wody) trzeba wykonać, by przenieść wodę z warunku odniesienia do wody w glebie w określonym miejscu (Nachum, 2025; Witkowska-Walczak, 2000). W uproszczeniu: im bardziej negatywny (ujemny) jest potencjał, tym trudniej roślinom pobrać wodę; potencjał wodny równy zeru oznacza stan pełnego wysycenia wodą wszystkich porów glebowych.

Związek między zawartością wody w glebie a potencjałem wodnym gleby, czyli charakterystykę wodną gleby, opisuje krzywa retencji wodnej gleby (KRWG), która jest podstawą do oceny dostępności wody i modelo-

wania bilansu wodnego. Modele KRWG (np. van Genuchten, 1980; Brooks i Corey, 1964) są powszechnie używane w hydrologii oraz inżynierii rolniczej (Too i in., 2014) (rys. 1).



Rysunek 1. Krzywe retencji wodnej gleb różnych utworów glebowych wykreślone za pomocą modelu van Genuchtena (1980) (na podstawie badań własnych)

Czynniki determinujące retencję glebową

Główne czynniki wpływające na zdolność gleby do magazynowania wody to:

Skład granulometryczny: uziarnienie gleby (udział frakcji piasku, pyłu, łąy) decyduje o strukturze gleb, a co za tym idzie o rozkładzie porów glebowych: gleby piaszczyste mają niską pojemność wodną, gliniaste i łąste – wysoką (choć w przypadku najcięższych gleb znaczna część wody może być niedostępna dla roślin) (Czyż, 2000).

Struktura i porowatość: agregaty gleby tworzą mikro-, mezo- i makropory wpływające odpowiednio na podsiąk kapilarny i odpływ grawitacyjny. Zwięzłość struktury (zagęszczenie) zmniejsza pojemność wodną i infiltrację wody w głąb profilu glebowego. Z punktu widzenia zaopatrzenia roślin w wodę najistotniejsze są pory średnie (mezopory), w których woda utrzymuje się po odpływie grawitacyjnym.

Zawartość materii organicznej (MO): próchnica zwiększa pojemność wodną poprzez zdolność adsorpcyjną i tworzenie drobnych porów; wzrost MO, nawet o niewielki procent, może znacząco poprawić pojemność magazynowania wody, szczególnie w glebach piaszczystych (Natural Resources Conservation Service, 2018).

Skład mineralny i właściwości chemiczne: obecność minerałów ilastych, wymiana kationowa oraz dodatki zawierające wapń wpływają na poprawę struktury glebowej oraz przepuszczalność i podsiąk kapilarny.

Warunki topograficzne i klimatyczne: nachylenie terenu, ekspozycja i wielkość opadu atmosferycznego decydują o infiltracji i erozji, a tym samym o lokalnej retencji.

Metody zwiększania retencji – przegląd praktyk i technologii

Zwiększanie zawartości materii organicznej

Dodatki nawozów, takich jak np. obornik, kompost, nawozy zielone, i nawożenie organiczne zwiększają MO, a ponadto poprawiają strukturę gleby i jej pojemność wodną. Nawet niewielki przyrost (o 1%) próchnicy może znacząco zwiększyć zdolność magazynowania wody, zwłaszcza w glebach piaszczystych (Natural Resources Conservation Service, 2018). Badania z ostatnich lat potwierdzają rolę zwiększonej zawartości węgla organicznego (*Soil Organic Carbon, SOC*) w poprawie retencji i wpływie próchnicy na bilans wodny gleby (Feifel i in., 2024).

Uprawa bezorkowa, mulcz i okrywy roślinne

Ograniczenie orki (*no-till*), stosowanie mulczu i międzyplonów redukuje utratę wilgoci przez ograniczenie parowania, poprawia infiltrację i chroni strukturę gleby przed erozją. Praktyki te zwiększają też ilość materii organicznej w glebie i poprawiają mikrostrukturę agregatową (Dembek i in., 2016). Przeglądy i raporty techniczne (Natural Resources Conservation Service, 2018) pokazują, że praktyki poprawiające zdrowie gleby (*cover crops, no-till, organic amendments*) są skorelowane z lepszą dostępnością wody dla roślin i mniejszą wrażliwością na suszę.

Agroleśnictwo, zadrzewienia oraz strefy buforowe

Wprowadzenie drzew i krzewów w krajobrazie rolniczym (agroleśnictwo), a także pasy roślinności przy ciekach redukują spływ powierzchniowy i zwiększają infiltrację, co sprzyja akumulacji materii organicznej w glebie. Te działania mają efekt zarówno lokalny (w skali pola), jak i krajobrazowy (retencja wodna zlewni) (Smith i in., 2013).

Biowęgiel

Biowęgiel poprawia pojemność wodną, CEC (zdolność wymiany kationów) i strukturę gleby, szczególnie w glebach ubogich w próchnicę. Programy pilotażowe i badania wskazują, że węgiel drzewny może być skutecznym uzupełnieniem praktyk poprawiających retencję, choć efekty zależą od dawki, rodzaju podłoża i sposobu aplikacji (Qian i in., 2020).

Hydrożele

Syntetyczne i biorozpuszczalne hydrożele (superabsorbenty) zwiększają zatrzymywanie wody w strefie korzeniowej i są szczególnie użyteczne w glebach piaszczystych oraz przy uprawach intensywnych. Ostatnie przeglądy i badania laboratoryjno-polewe potwierdzają efektywność hydrożeli w zmniejszaniu zapotrzebowania na irygację, ale wskazują też na aspekty środowiskowe i ekonomiczne, które należy rozważyć przed szerokim wdrożeniem (Muhammad i in., 2025).

Jak zwiększyć retencję wodną gleb? Rekomendacje dla praktyki rolniczej (tab. 2)

- 1. Zwiększanie ilości materii organicznej** – jest to najbardziej uniwersalna i długotrwała metoda zwiększania retencji wodnej w glebie: kompost, obornik, okrywy roślinne i praktyki bezorkowe.
- 2. Łączenie różnych praktyk** – najlepsze wyniki uzyskuje się łącząc zabiegi biologiczne (międzyplony, mulcz, agroleśnictwo) z zabiegami krajobrazowymi (strefy buforowe, mała retencja).
- 3. Selekttywne stosowanie innowacyjnych materiałów** – hydrożele i biowęgiel mogą być użyteczne szczególnie w glebach piaszczystych i w uprawach wysokonakładowych, ale ich stosowanie wymaga analizy kosztów.

- 4. Monitorowanie efektów** – wdrażanie praktyk zwiększających retencję wodną powinno iść w parze z pomiarami (KRWG, MO, dostępności wody dla roślin) i oceną efektów w czasie.
- 5. Polityka i wsparcie finansowe** – działania zwiększające retencję (np. odtwarzanie mokradeł, agroleśnictwo) dla osiągnięcia trwałości efektów często wymagają dodatkowego wsparcia (dopłaty, programy rolnośrodowiskowe itp.).

Tabela 2. Wpływ różnych praktyk rolniczych na właściwości wodne gleby (na podstawie badań literaturowych)

Praktyka/technologia	Zmiana SOC (%) po 5 latach	Zmiana WD (%)	Uwagi
Uprawa bezorkowa np. (no-till, strip-till)	+0,3–0,8	+5–12	Powolny, ale długo-trwały efekt
Międzyplony (cover crops)	+0,4–1,0	+8–15	Dodatkowo redukuje parowanie i erozję
Dodatek kompostu/obornika	+0,8–2,0	+10–25	Największy wpływ w glebach lekkich
Biowęgiel (5–20 t/ha)	+0,2–1,0	+5–20	Efekt zależy od surowca, z którego został wytworzony
Hydrożele (0,2–0,5% masy gleby)	–	+15–30	Wysokie koszty, szybki, ale krótkotrwały efekt

Źródło: opracowano na podstawie: (Blanco-Canqui & Lal, 2008), (Król & Badora, 2021), (Zhang et al., 2020), (FAO, 2023)

Metody oceny zapotrzebowania na nawadnianie roślin uprawnych

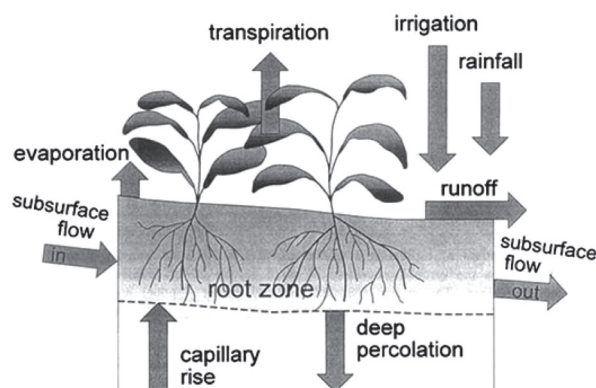
Utrzymanie odpowiedniego poziomu wilgotności gleby w okresie wegetacji roślin wymaga podjęcia dwóch kluczowych decyzji: w jakim momencie i w jakiej ilości dostarczyć wodę?

Najpowszechniejszą praktyką wśród rolników pozostaje metoda sensoryczna, oparta na ludzkich obserwacjach. Polega ona na wizualnej lub dotykowej ocenie stopnia nawilżenia gleby lub kondycji roślin (Kozyra i Wawer, 2016; Syropoulou i in., 2017). Rolnik, bazując na własnym doświadczeniu, może w przybliżeniu określić termin nawadniania poprzez manualną ocenę

gleby. Decyzja o ilości wody zazwyczaj opiera się na dążeniu do pełnego nasycenia gleby, co manifestuje się tworzeniem kałuż na powierzchni. Metoda ta jest jednak obciążona istotnymi wadami. Po pierwsze, opiera się wyłącznie na subiektywnym doświadczeniu, bez obiektywnych pomiarów wilgotności, co uniemożliwia precyzyjne określenie aktualnego stanu i optimum dla danej rośliny. Po drugie, po suszy opady mogą zwilżyć jedynie górną warstwę gleby, sugerując wystarczające nawilżenie, podczas gdy głębiej występuje niedobór. Nawadnianie do stanu nasycenia jest nieefektywne ekonomicznie i szkodliwe ekologicznie. Woda z przepełnionej gleby (gdy wszystkie pory są wypełnione) odpływa w ciągu doby do poziomu pojemności polowej, powodując stratę nadmiaru wraz z rozpuszczalnymi nawozami (np. potasem i azotem), które zanieczyszczają wody podziemne.

Innym podejściem jest kalkulacja dziennego ubytku wody poprzez ewapotranspirację (FAO, 1984; Wawer i in., 2016). Metoda ta wykorzystuje złożone wzory, uwzględniające typ gleby i rośliny (w tym stadium ich rozwoju) oraz dane pogodowe. Pozwala na szacowanie dziennych strat na parowanie, które można kompensować nawadnianiem (rys. 2). Minusem jest uproszczone traktowanie odpływu w głąb gleby, co grozi jej przesuszeniem. Brakuje też informacji o bieżącym stanie wilgotności i jej optymalnym poziomie dla konkretnej uprawy.

Trzecia kategoria metod polega na bezpośrednim monitoringu wilgotności w obszarze korzeni (Kozyra i Wawer, 2016; Syropoulou i in., 2017; Wawer i in., 2016). Pomiar ten dostarcza jednoznacznych danych o aktu-



Rysunek 2. Składowe bilansu wody w glebie

Źródło: (Allen i in., 1998)

alnym poziomie nawilżenia i deficycie wodnym. Umożliwia utrzymanie wilgotności w zakresie optymalnym dla gatunku i odmiany. Pozwala na automatyzację procesu, z precyzyjnym wyliczeniem dawki lub wyłączeniem systemu po osiągnięciu celu. W zaawansowanych rozwiązaniach czujniki są umieszczane na stałe w strefie korzeniowej, z odczytami co godzinę, dostępnymi w aplikacjach mobilnych, które konwertują dane na zalecane dawki dla pola (Kordowska i in., 2023).

Dawniej zapotrzebowanie na nawadnianie obliczano na podstawie ewapotranspiracji jako elementu klimatycznego bilansu wodnego, definiowanego jako różnica między sumą opadów a ewapotranspiracją. Podejście to wdrożono w modelu FAO56 (FAO, 1984). Jego ograniczenia to niedokładne modelowanie perkolacji i pominięcie bocznego spływu podziemnego. Dzięki postępującej miniaturyzacji i elektronice możliwe są dokładne, bieżące pomiary wilgotności gleby. To umożliwia ocenę rzeczywistego stresu wodnego i dostosowanie dawki nawadniającej do specyfiki rośliny i gleby.

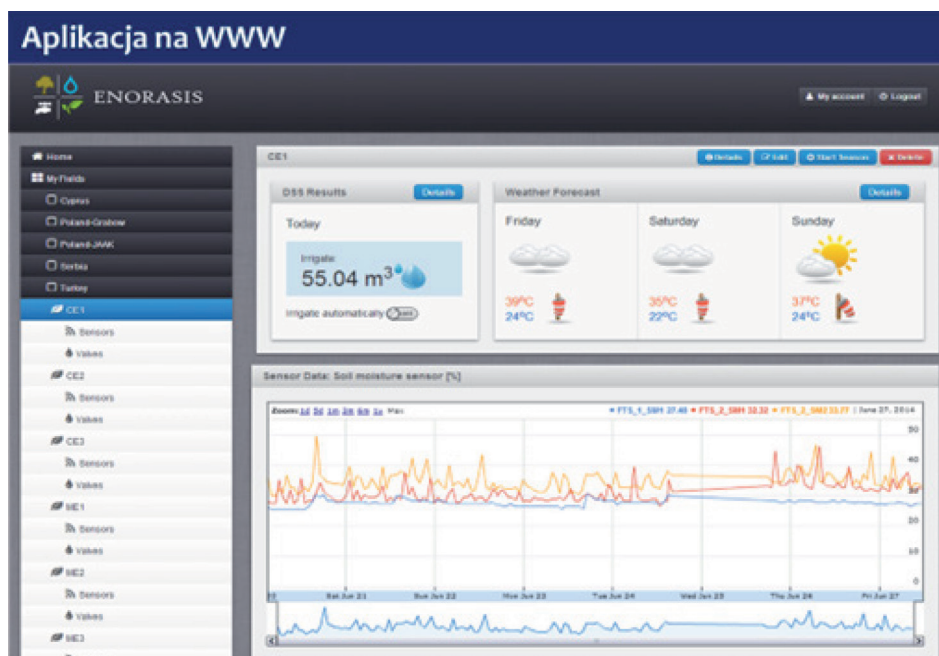
Inteligentne rolnictwo w zarządzaniu zasobami wodnymi

Czujniki oraz systemy decyzyjne mają szerokie zastosowanie w optymalizacji zużycia wody w rolnictwie i ochronie jej jakości. Niektóre rozwiązania nawadniające są już dostępne (np. Aquastatus, Agreus), inne pojawią się wkrótce (AquaPlant). Trwają prace nad narzędziami do automatycznej regulacji systemów melioracyjnych, sterowania urządzeniami upustowymi w stawach i zbiornikach, z monitoringiem ilościowym i jakościowym wody. Warto podkreślić, że systemy dostarczające jedynie danych o wilgotności gleby są mało praktyczne, gdyż każdy typ gleby ma unikatową pojemność wodną. Na przykład 12% wilgotności dla piasków gliniastych oznacza optimum, ale dla glin – punkt wędnięcia roślin (Wawer i in., 2016).

Precyzyjne nawadnianie z użyciem technologii Rolnictwa 4.0. Przykład platformy ENORASIS

W okresie 2012–2014 konsorcjum badaczy z IUNG-PIB, uczelni europejskich i firm IT rozwijało zaawansowany system decyzyjny dla nawadniania rolniczego ENORASIS, oparty na najnowszych innowacjach. Projekt sfinansowała Komisja Europejska w ramach 7. Programu Ramowego, sekcji Eko-

-innowacje. Na podstawie konsultacji z rolnikami, ekspertami rolniczymi i instytucjami wodnymi z różnych krajów UE zdefiniowano wymagania systemu oraz formy prezentacji wyników użytkownikom. Opracowany system (Syropoulou i in., 2017) szacuje potrzeby nawadniania za pomocą modeli matematycznych, integrując dane pogodowe, obrazy satelitarne, prognozy i – przede wszystkim – pomiary wilgotności gleby. Zalecenia co do terminu i ilości wody przekazywane są rolnikowi SMS-em, przez stronę internetową ENORASIS po zalogowaniu lub przez aplikację mobilną (fot. 1). Innowacją jest integracja bezprzewodowych sieci czujników wilgotności, transmitujących dane *via* telefonia komórkowa do platformy. Decyzje o nawadnianiu może podejmować użytkownik, ale system umożliwia też automatyzację (sterowanie elektrozaworami). Platformę przetestowano w pięciu lokalizacjach pilotażowych: w Polsce (dwie), Serbii, Turcji i na Cyprze. Obiekty testowe wyposażono w bezprzewodowe czujniki wilgotności (fot. 2 i 3), stacje meteo i dedykowane prognozy numeryczne. Kontrola nawadniania odbywała się poprzez aplikację webową i mobilną na Android. Sterowanie zaworami również realizowano *via* aplikacja Android.



Fotografia 1. Widok strony ENORASIS z dawką nawodnieniową, prognozą meteo i historią pomiarów dla każdego pola w gospodarstwie (źródło: R. Wawer)

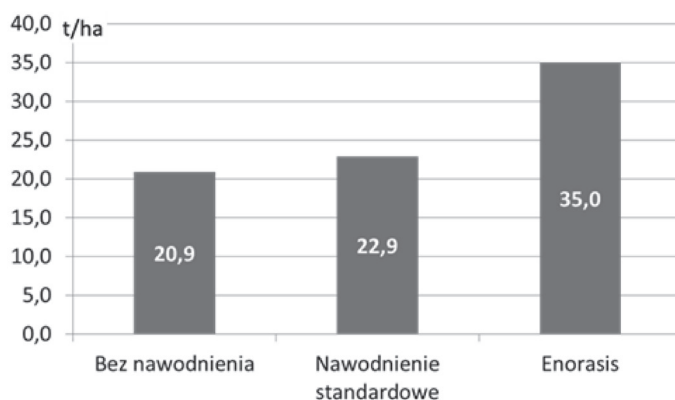


Fotografia 2. Czujniki bezprzewodowe ENORASIS na polu ziemniaka (fot. R. Wawer)

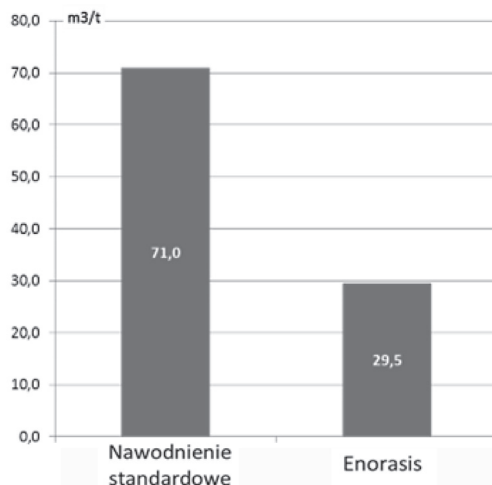


Fotografia 3. Czujniki zainstalowane na stałe w strefie korzeniowej ziemniaka (fot. R. Wawer)

W pierwszym roku prowadzono dwa poziomy nawodnień oraz kontrolę bez nawadniania: brak nawodnienia i nawadnianie optymalizowane przez ENORASIS. W Grabowie w 2014 r. nawadnianie według systemu ENORASIS doprowadziło do wzrostu plonów kukurydzy o 61%, a ziemniaka o 67% w porównaniu do obiektu bez nawadniania (rys. 3), przy niskich kosztach eksploatacyjnych systemu nawodnieniowego i znacznej oszczędności wody, sięgającej 42% (rys. 4). Nawadnianie pozwoliło na znaczne zwiększenie opłacalności uprawy badanych roślin.



Rysunek 3. Plon ziemniaka w 2014 r. (badania własne IUNG-PIB)



Rysunek 4. Zużycie wody na tonę plonu ziemniaka w 2014 r. (badania własne IUNG-PIB)

System przetestowano również na plantacji maliny wczesnej i maliny jesiennej. Plantacja testowa położona była na płytkich glebach piaszczystych zalegających na zeszczelinowanym marglu. Układ gleby powodował bardzo szybką odciekalność profilu. Według relacji właściciela plantacji i jego pracowników, nigdy nie zdarzyło się, by osiągnięto na tej glebie pełne wysycenie wodą – nigdy nie zaobserwowano zastoisk wody na powierzchni gleby.

Po zainstalowaniu czujników wilgotności gleby, określeniu rodzaju gleby oraz głębokości strefy korzeniowej malin skonfigurowano system oraz podłączono elektrozawory do źródła wody. Dzięki zastosowaniu bezpośredniego

pomiaru wilgotności gleby w strefie korzeniowej udało się osiągnąć 10-krotne (!) zmniejszenie zużycia wody przy braku wpływu na plon. Według relacji właściciela plantacji, owoc miał nieco lepsze parametry jakościowe, a same rośliny były dużo zdrowsze.

Na zakończenie projektu zorganizowano warsztaty z rolnikami i doradcami. W Polsce uczestnicy chwalili możliwości systemu, oszczędności wody i wzrost plonów. Jednak cenę czujników, zaworów i abonamentu pogodowego uznano za zbyt wysoką.

Podsumowanie

Postępujące globalne ocieplenie atmosfery prowadzi do pogłębiania deficytów wodnych w rolnictwie oraz większej zmienności i intensywności opadów atmosferycznych. Zmiany te zaburzają bilans wodny gleb i ograniczają dostępność wody dla roślin, co stanowi poważne wyzwanie dla stabilności produkcji rolniczej. Coraz większe znaczenie zyskuje zatem koncepcja rolnictwa klimatycznie inteligentnego (CSA), ukierunkowanego na zrównoważony rozwój i odporność systemów produkcyjnych. Kluczowymi elementami tego podejścia są efektywne wykorzystanie wody w całym łańcuchu wartości rolnictwa (z uwzględnieniem gospodarki o obiegu zamkniętym) oraz zrównoważone gospodarowanie dostępnymi zasobami wodnymi, inteligentne zarządzanie uprawami i ochrona gleb.

Wobec obserwowanych, a zwłaszcza prognozowanych niedoborów wody wciąż ważne jest, aby zwiększać zdolności retencyjne gleb. Służą do tego m.in. znane i stosowane, jak również innowacyjne sposoby natury agrotechnicznej. Wspieranie dobrych praktyk w tym zakresie powinno polegać na edukacji i adekwatnej stymulacji ekonomicznej.

Warunkiem efektywnego zarządzania jakimkolwiek zasobem jest ciągły dostęp użytkownika do informacji o wielkości i jakości tego zasobu. Bardzo niewielki odsetek rolników nawadniających swoje uprawy stosuje jakiekolwiek systemy wspierania decyzji do określenia terminów i dawek nawadniania (Treder, Szymczak i Wawer, 2021). Jeszcze mniej jest rolników monitorujących zużycie i wielkość zasobów dostępnej wody.

Niekontrolowany i *de facto* ukryty pobór wód w ramach zwykłego korzystania z nich, przewidzianego w prawie wodnym, obejmującego deklaracyjny limit 5 m³ na dobę średniorocznie (w sumie 1825 m³ na rok), może doprowadzić do degradacji zasobów wód gruntowych, jak to się stało w Hiszpanii (Barea Luchena, 2018; WWF, 2006), gdzie według stanu na 2006 r. blisko połowa zasobów wodnych była zdegradowana.

Strategiczne dokumenty, jak np. program przeciwdziałania niedoborowi wody (PPNW), kształtują ramy gospodarki wodnej na przyszłe lata przy założeniu bieżąco rejestrowanego poboru wody (około dwustu ujęć zarejestrowanych w pozwoleniach wodno-prawnych w skali kraju), nie uwzględniając poboru rzeczywistego, który w opinii wielu obserwatorów jest znacząco większy od rejestrowanego.

Systemy wspierania decyzji w nawodnieniach powinny zostać rozszerzone o funkcjonalność zarządzania całymi dostępnymi zasobami wodnymi w gospodarstwie i bieżącym monitoringiem zasobu, prognoz zużycia wody oraz bilansowania na poziomie gospodarstwa. Powinny też umożliwiać automatyczne zbieranie danych o poborze i raportowanie do administracji wodnej zarządzającej zasobami wodnymi. Tylko wtedy możliwe będzie racjonalne i bezpieczne w długim horyzoncie czasowym gospodarowanie wodą na obszarach wiejskich. Ważnym czynnikiem limitującym aktualnie wdrażanie opisanych systemów monitorowania i sterowania nawodnieniami są ich koszty.

Literatura

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56, FAO, Rome.
- Allan, R.P., Barlow, M., Byrne, M.P., Cherchi, A., Douville, H., Fowler, H.J., Gan, T.Y., Pendergrass, A.G., Rosenfeld, D., Swann, A.L.S., Wilcox, L.J., and Zolina, O. (2020). *Advances in understanding large-scale responses of the water cycle to climate change*. Annals of the New York Academy of Sciences, 1472, 49–75. <https://doi.org/10.1111/nyas.14337>
- Barea Luchena, J. (2018). *Los pozos ilegales nos roban el agua*. Greenpeace: <https://es.greenpeace.org/es/noticias/los-pozos-ilegales-nos-roban-el-agua/>
- Blanco-Canqui, H., & Lal, R. (2008). *No-tillage and soil-profile carbon sequestration: An on-farm assessment*. Soil Science Society of America Journal, 72(3), 693–701.

- Brooks, R.J., & Corey, A.T. (1964). *Hydraulic properties of porous media*, Hydrology Paper 3, Colorado State University, Fort Collins.
- Czyż, E.A. (2000). *Uwilgotnienie gleb i zużycie wody przez rośliny w zależności od wybranych czynników agrotechnicznych*. Pamiętnik Puławski, 123, 5–142.
- Dembek, W., Kuś, J., Wiatkowski, M., Żurek, G. (red.) (2016). *Innowacyjne metody gospodarowania zasobami wody w rolnictwie*. Brwinów: Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie.
- Demidowicz, G., Doroszewski, A., Górski, T. (1997). *Metodyka szacunku strat w produkcji roślinnej powodowanych deficytem opadów*. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCXCI, 233–243.
- Doneen, L.D., Westcot, D.W., Italconsult S.p.A., Rome (Italy) (1984). *Irrigation Practice and Water Management*. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 1, Revision 1.
- Doroszewski, A., Jadczyński, J., Kozyra, J., Pudęko, R., Stuczyński, T., Mizak, K., Łopata, A., Koza, P., Górski, T., Wróblewska, E. (2012). Podstawy Systemu Monitoringu Suszy Rolniczej. Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie, (IV–VI), t. 12, 2(38), 77–91.
- FAO (2023). *CROPWAT 8.0 Model for Water Balance and Irrigation Management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Feifel, M., Durner, W., Hohenbrink, T.L., & Peters, A. (2024). *Effects of improved water retention by increased soil organic matter on the water balance of arable soils: A numerical analysis*. Vadose Zone Journal, 23, e20302. <https://doi.org/10.1002/vzj2.20302>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2013). *Water management and climate change (Module B6-3)*. In: Climate-Smart Agriculture Sourcebook. <https://www.fao.org/climate-smart-agriculture-sourcebook/production-resources/module-b6-water/chapter-b6-3/en/> (dostęp: 31.10.2025).
- Górski, T., Doroszewski, A. (1986). *Wpływ opadów atmosferycznych na plonowanie ziemniaków w Polsce*. Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych, 284, 369–375.
- Hyman-Rabeller, K.A., & Loheide II, S.P. (2023). *Drivers of variation in winter and spring groundwater recharge: Impacts of midwinter melt events and subsequent freezeback*. Water Resources Research, 59, e2022WR032733. <https://doi.org/10.1029/2022WR032733>
- Intergovernmental Panel on Climate Change 2021. Climate Change (2021). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu & B. Zhou (Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896/>

- Kordowska, M., Baranowski, M., Pisarek, J., Ziemacki Z., Wawer, R., Czech, T. (2023). *ROLNICTWO 4.0. Identyfikacja trendów technologicznych*. Wydawnictwo NCBiR, ISBN 978-83-967832-1-9.
- Kozyra, J., Wawer, R. (2016). *Nawadnianie z wykorzystaniem pomiarów wilgotności gleby*. Szydłów, 26.10.2016.
- Krasowicz, S., Oleszek, W., Horabik, J., Dębicki, R., Jankowiak, J., Stuczyński, T., Jadczyzyn, J. (2011). *Racjonalne gospodarowanie środowiskiem glebowym Polski*. Polish Journal of Agronomy, 2011, 7, 43–58.
- Król, K., & Badora, K. (2021). *Wpływ praktyk rolnictwa zrównoważonego na właściwości wodne gleb*. Acta Agrophysica, 28(4), 55–69.
- Muhammad, N., Kader, M.A. et al. (2025). *A review of impacts of hydrogels on soil water conservation in dryland agriculture*. Farming System, 3 (2025) 100166. <https://doi.org/10.1016/j.farsys.2025.100166>
- Nachum, S. (2025). *Soil Water Potential in Geosciences: An Overview*. Geosciences, 5, 123. <https://doi.org/10.3390/geosciences15040123>
- Pietrzak, S., & Urbaniak, M. (2023). *The relationship between the granulometric composition of grassland soils and their content of mineral nitrogen and organic carbon*. Journal of Water and Land Development, No. 57 (IV–VI): 69–77. doi: 10.24425/jwld.2023.145337
- Qian, Z., Tang, L., Zhuang, S. et al. (2020). *Effects of biochar amendments on soil water retention characteristics of red soil at south China*. Biochar, 479–488 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00068-w>
- Smith, P., Mike R. Ashmore, M.R. et al. (2013). *The role of ecosystems and their management in regulating climate, and soil, water and air quality*. Journal of Applied Ecology, 50, 812–829. doi: 10.1111/1365-2664.12016
- Effects on Soil Water Holding Capacity and Soil Water Retention Resulting from Soil Health Management Practices Implementation – A Review of the Literature Posted to the NRCS Soil Health Website as of 9/2016 Submitted by: Christopher W. Smith, Ph.D., Soil Scientist, NRCS Reviewed by: Michael Kucera, Agronomist, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.*
- Syropoulou P., Symeonidou M., Tekes S., Wawer R., Kazantzidis A., Crnojevic V., Bruggeman A. (2017). *Developing an intelligent ICT system for environmentally optimized irrigation management in agriculture*. Journal of Agricultural Informatics, 8(2), 22–32.
- Tomczyk, P., Wdowczyk, A., Wiatkowska, B., Szymańska-Pulikowska, A., Kuriqi, A. (2024). *Fertility and quality of arable soils in Poland: spatial-temporal analysis of long-term monitoring*. Ecological Indicators, 166, 112375. doi: 10.1016/j.ecolind.2024.112375

- Too, V.K., Omuto, C.T., Biamah, E.K., and Obiero, J.P. (2014). *Review of Soil Water Retention Characteristic (SWRC). Models between Saturation and Oven Dryness*. Open Journal of Modern Hydrology, 4, 173–182. <http://dx.doi.org/10.4236/ojmh.2014.44017>
- Toreti, A., Tsegai, D., Maurer, T., Cremonese, E., Rossi, L., Wens, M., de Moel, H., Sabino Simons, A.-S., Acosta Navarro, J., Hrašt Essenfelder, A., Volpi, D., Cotti, D., Sparkes, E., & Hagenlocher, M. (2024). *World Drought Atlas* (JRC139691). Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/3842670>
- Treder, W., Szymczak, T., Wawer, R. (2021). *Raport końcowy z pilotażu tworzenia lokalnych partnerstw ds. wody (LPW)*. Brwinów: Wydawnictwo CDR w Brwinowie.
- United Nations (2023). *Report of the United Nations Conference on the Mid-term Comprehensive Review of the Implementation of the Objectives of the International Decade for Action. Water for Sustainable Development, 2018–2028* (Advance unedited version) (A/CONF.240/2023/10). https://sdgs.un.org/sites/default/files/2023-10/Final%20report%202023%20Water%20Conference%20%28as%20submitted%29_website.pdf (dostęp: 21.10.2025).
- van Genuchten, M.Th. (1980). *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Science Society of America Journal, 44, 892–898.
- Wawer, R., Matyka, M., Łopatka, A., Kozyra, J. (2016). *Systemy wspomagania decyzji w nawodnieniach upraw rolniczych*. ss. 165-182. W: Dembek W., Kuś J., Wiatkowski M., Żurek G. (red.), *Innowacyjne metody gospodarowania zasobami wody w rolnictwie*. Brwinów: Wydawnictwo CDR w Brwinowie, ISBN: 978-83-88082-18.
- Wawer, R., Niedźwiecki, J., Łysoń, P., Treder, W., Szymczak, T., Konecka-Szymczak, E., Kasperska-Wołowicz, W., Dembek, W., Kozyra, J. (2020). *Adaptacja gospodarki wodnej w rolnictwie do zmieniającego się klimatu* (red.) P. Łysoń i R. Wawer. IUNG-PIB Puławy, ISBN 978-83-7562-331-4.
- Witkowska-Walczak, B. (2000). *Wpływ struktury agregatowej gleb mineralnych na ich hydrofizyczne charakterystyki*. Acta Agrophysica, 30: 5-96.
- WWF (2006). *Illegal water use in Spain. Causes, effects and solutions*. WWF/Adena,
- Zhang, W. et al. (2020). *Meta-analysis of the effects of cover crops on soil organic carbon and water retention*. Agricultural Water Management, 241, 106385.
- Ziarnicka-Wojtaszek, A. (2015). *Klimatyczny bilans wodny na obszarze Polski w świetle współczesnych zmian klimatu*. Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie, 15, 93–100.

WODA W ROLNICTWIE – NAWADNIANIE JAKO CZYNNIK WARUNKUJĄCY STABILNOŚĆ PRODUKCJI ROŚLINNEJ

ROMAN ROLBIECKI

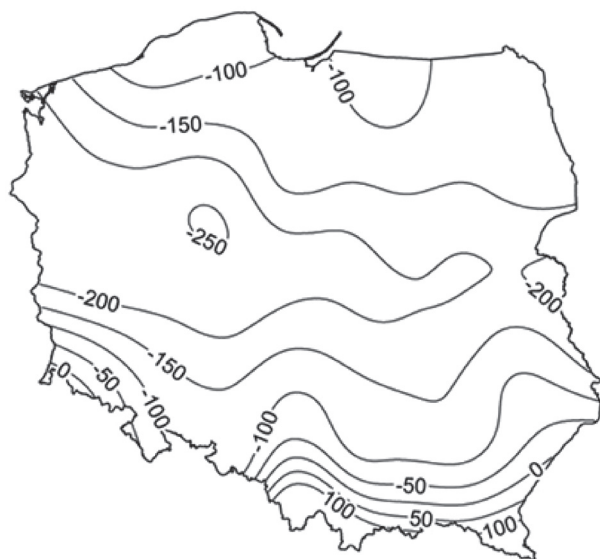
Wprowadzenie

Rolnictwo jest jedną z głównych gałęzi gospodarki pod względem zapotrzebowania na wodę – w Unii Europejskiej jest to prawie 25% rocznego poboru wody, a w regionach o intensywnej produkcji i gorącym klimacie dochodzi do 80% (European Environment ..., 2009). Bardzo wiarygodnym wyznacznikiem warunków wodnych jest klimatyczny bilans wodny (KBW). Polska pod tym względem jest niestety jednym z najmniej korzystnie prezentujących się krajów w Europie, co wynika z niskich opadów (średnio ok. 600–650 mm), wysokiej ewapotranspiracji (ok. 450 mm) i małego udziału dopływu (ok. 13%) (Treder i in., 2019). W niedalekiej przyszłości należy spodziewać się jeszcze pogorszenia bilansu wodnego ze względu na zwiększenie częstości suszy i deszczów nawaalnych przy jednoczesnym wzroście temperatury i ewapotranspiracji, co jest efektem obserwowanych zmian klimatu (Lobell i in., 2008; Kuchar i in., 2015).

Według danych ICID (International Commission on Irrigation and Drainage), aktualnie na świecie nawadnia się wszystkimi systemami ponad 270 mln ha gruntów, co stanowi 18% powierzchni przeznaczonej pod uprawy. Z tej powierzchni uzyskuje się około 40% światowej produkcji żywności. Przeważająca część nawadnianej powierzchni jest położona w strefach

klimatycznych stale lub okresowo suchych bądź półsuchych, w których uprawa roślin bez nawadniania byłaby w ogóle niemożliwa. Na obszarach tych główną przesłankę zastosowania nawodnień stanowi kryterium klimatyczne, a ściślej mówiąc stały lub powtarzający się co roku w tej samej porze sezonowy brak opadów atmosferycznych (Rzekanowski i in., 2011; Rolbiecki, 2013).

Polska leży w strefie klimatycznej charakteryzującej się opadami atmosferycznymi zasadniczo wystarczającymi do produkcji roślinnej. Jednakże o ile sumaryczne wielkości opadu w sezonie wegetacyjnym są wystarczające, to ich rozkład jest nieregularny pod względem natężenia i ilości w ujęciu miesięcznym i dekadowym. Dlatego w konkretnych sezonach wegetacji lub ich częściach obserwujemy coraz częstsze braki opadów, tzw. okresy posuszne (susze atmosferyczne), spowodowane w dużej mierze zmianami klimatycznymi. W ujęciu średnim wieloletnim niedobory te wynikają ze zbyt małej ilości opadów w porównaniu z zapotrzebowaniem roślin, wyrażanym za pomocą wskaźników ewapotranspiracji lub opadów optymalnych (Rzekanowski i in., 2011). Dlatego głównym celem nawadniania jest uzupełnianie okresowych niedoborów opadów atmosferycznych w stosunku do wymagań wodnych roślin uprawnych. W Polsce nawodnienia są stosowane zaledwie



Rysunek 1. Klimatyczny bilans wodny [mm] w sezonie wegetacyjnym (IV–IX), średnio w wieloleciu (Łabędzki i in., 2011)

na około 2–2,5% powierzchni użytków rolnych. Wynika to z jednej strony z charakteru nawadniania (uzupełnienie niedoborów opadów), a z drugiej strony ze struktury zasiewów (ok. 75% powierzchni to rośliny zbożowe).

W warunkach klimatycznych Polski największe deficyty opadów atmosferycznych, wybitnie niekorzystne bilanse wodne oraz zwiększone częstotliwości długotrwałych okresów bezopadowych występują w środkowej części kraju, tzw. Krainie Wielkich Dolin (Rolbiecki, 2013; Łabędzki i in., 2011). Wartości liczbowe KBW w sezonie wegetacyjnym przedstawiono na rysunku 1.

Potrzeby nawadniania roślin w Polsce

Potrzeby nawadniania roślin w Polsce wynikają głównie z występowania niedoborów opadów atmosferycznych, które w okresie wegetacyjnym stanowią główne źródło wody dla roślin. Niedobory opadów opisuje się jako różnicę między wskaźnikami potrzeb wodnych roślin a rzeczywistymi opadami, jakie wystąpiły w całym okresie wegetacji lub niektórych fazach wzrostu i rozwoju roślin. Oblicza się je najczęściej w odniesieniu do całego wielolecia, co pozwala na ocenę zmienności przestrzennej, lub dla kolejnych sezonów wegetacji roślin, a to umożliwia zarazem ocenę ich zmienności czasowej. W warunkach przejściowego klimatu Polski ważniejsza wydaje się analiza zmienności czasowej niedoborów opadów, a zatem potrzeb nawadniania, gdyż warunki zaopatrzenia roślin w wodę w kolejnych latach różnią się w poszczególnych rejonach i miejscowościach. Mimo wielu przeprowadzonych badań, liczbowe ujęcie potrzeb nawadniania roślin napotyka duże trudności. Wynika to m.in. z niezwykle złożonej zależności wskaźników potrzeb wodnych roślin od kompleksu czynników glebowych i meteorologicznych, a także od różnic gatunkowych i odmianowych uprawianych roślin. Te ostatnie zależą od długości okresów wegetacji, zmienności faz rozwojowych roślin i różnej wrażliwości roślin na niedobory wody (tzw. okresy wzmożonego zapotrzebowania na wodę) oraz od stopnia odporności na warunki posuszne (Rzekanowski i in., 2011).

Potrzeby wodne określa się wskaźnikowo, najczęściej za pomocą opadów optymalnych, potrzeb opadowych lub wyznaczając ewapotranspirację łąnu roślin w warunkach optymalnego uwilgotnienia gleby. Wskaźniki opadowe są szczególnie przydatne do klimatycznej oceny potrzeb nawadniania, nato-

miast wskaźniki ewapotranspiracji mają większe znaczenie w operacyjnym monitorowaniu zużycia wody glebowej, niezbędnym do umiejętnego dozowania dawek nawodnieniowych, czyli sterowania nawadnianiem.

W kontekście przewidywanych i zachodzących w Polsce zmian klimatycznych obserwuje się wzrost zapotrzebowania na wodę do nawadniania, ze względu na coraz większe jej niedobory w glebie w okresie letnim. Spowodowane jest to wzrostem temperatur w okresie wegetacji, który wzmacnia ewapotranspirację. Nawadnianie jest w tej sytuacji podstawowym czynnikiem kształtującym stosunki wodne w glebie w czasie występowania długotrwałych okresów bezopadowych, które będą się jeszcze nasilać (Pierzgalski i Jeznach, 2006; Kundzewicz, 2007; Łabędzki, 2009). W warunkach Polski wyróżnia się trzy podstawowe kryteria lokalizacji systemów nawadniających: klimatyczne, glebowe oraz ekonomiczne. Kryterium klimatyczne mówi nam o tym, że systemy nawodnieniowe powinny być instalowane na obszarach charakteryzujących się największymi deficytami opadów atmosferycznych w sezonie wegetacyjnym, co w warunkach Polski, jak wspomniano wcześniej, odpowiada tzw. Krainie Wielkich Dolin, czyli obejmuje centralny pas naszego kraju. Strefy celowości lokalizacji urządzeń nawadniających przedstawiono na rysunku 2.

Kryterium glebowe odnosi się do możliwości retencyjnych gleby. Kryterium to mówi, że urządzenia nawadniające powinniśmy stosować na glebach o najmniejszych możliwościach retencyjnych, tzn. glebach najslabszych, których możliwości magazynowania wody są mocno ograniczone. Chodzi głównie o kompleksy glebowe od żytanego dobrego po bardzo słaby. Na tego typu glebach występuje największe ryzyko wystąpienia tzw. susz glebowych w okresach bezopadowych. Areał gleb lekkich i bardzo lekkich stanowi w Polsce około 47% gruntów przeznaczonych pod uprawę (Pierzgalski i Jeznach, 2006). Do ich głównych wad, jak podają Dzieżyc i Trybała (1989), należy zaliczyć niekorzystne właściwości wodne, takie jak: zbyt duża przepuszczalność, słaby podsiąk, mała retencja wodna, krótkotrwałe zapasy wody łatwo dostępnej dla roślin, szybkie wysychanie gleby, częste, dłuższe i groźniejsze dla roślin okresy posuszne w porównaniu do gleb średnich i ciężkich. Ograniczenia te są tym silniejsze, im luźniejszy jest skład granulometryczny gleby, niższy poziom wody gruntowej (z reguły poza zasięgiem systemu korzeniowego) oraz niskie i źle rozłożone opady atmosferyczne w sezonie wegetacyjnym. Głównie te czynniki obniżają ich produktywność



Rysunek 2. Strefy celowości lokalizacji nawodnień ciśnieniowych wg Drukpi na podstawie kryterium klimatycznego (ET_0/P) Źródło: Wikipedia

oraz ograniczają wprowadzenie do uprawy roślin intensywnych (Dzieżyc i Trybała, 1989; Rolbiecki, 2013). Ostatnim kryterium, niezwykle ważnym i w gruncie rzeczy decydującym o podjęciu decyzji, czy zainwestować w system nawadniający, jest kryterium ekonomiczne. Czyli nawadniamy takie gatunki roślin, które pod wpływem zabiegu nawadniania pozwolą uzyskać taki przyrost plonu, który zrekompensuje koszty tego zabiegu oraz pozwoli na osiągnięcie zadowalających efektów finansowych. W warunkach polskiego rolnictwa najlepsze efekty ekonomiczne uzyskuje się nawadniając rośliny ogrodnicze, a z roślin polowych są to głównie ziemniaki, buraki cukrowe oraz kukurydza na ziarno.

Efekty produkcyjne nawadniania roślin

Podstawowym wskaźnikiem efektów produkcyjnych nawadniania roślin są przeciętne (średnie wieloletnie) przyrosty plonów osiągane pod wpływem zastosowania tego zabiegu. Duże znaczenie gospodarcze mają także zmiany jakości plonu. W przypadku roślin pastewnych ważne jest określe-

nie zmian wartości paszowej, a w przypadku roślin towarowych poznanie wpływu nawadniania na kompleks cech jakościowych, składających się na przydatność plonu do bezpośredniej konsumpcji lub technologii przetwórstwa surowców. Mniejsze znaczenie dla bezpośredniej wyceny efektów produkcyjnych nawadniania roślin ma oszacowanie zmian plonów ubocznych oraz masy resztek pozbiorowych. Warto jednak pamiętać, że ewentualne przyrosty plonów ubocznych zwiększają korzyści związane z zastosowaniem nawodnień, przyczyniając się do zwiększenia produkcji obornika i zapobiegając ubytkom materii organicznej w glebach. Bezpośredni efekt produkcyjny nawadniania w postaci wzrostu plonu i zmian jego jakości jest pochodną powodowanych przez ten zabieg modyfikacji wzrostu i rozwoju roślin. W szczególności nawadnianie wpływa na zmiany aktywności procesów fizjologicznych, budowę morfologiczną i anatomiczną, a w konsekwencji na elementy struktury plonu. Z kompleksowych badań prowadzonych na przykładzie roślin zbożowych (Karczmarczyk, 1999) wynika, że nawadnianie połączone z nawożeniem optymalnymi dawkami NPK powodowało istotne zwiększenie intensywności procesów fizjologicznych, zachodzących w liściach roślin, a więc większe: asymilację CO₂, transpirację oraz przewodność aparatów szparkowych. Intensyfikacja procesów fizjologicznych oraz przedłużenie okresu fizjologicznej sprawności roślin nawadnianych prowadziły do ich bujniejszego wzrostu, wytworzenia wyższych i grubszych źdźbeł, większych kłosów, a także zwiększenia liczby i masy ziaren w kłosie.

Na temat efektów produkcyjnych nawadniania w różnych warunkach glebowych i klimatycznych przeprowadzono w Polsce bardzo dużo badań naukowych. Rezultaty pojedynczych doświadczeń były następnie przedmiotem licznych syntez. Do najbardziej znanych i najczęściej cytowanych prac syntetycznych z tego zakresu zaliczyć można przede wszystkim obszerną monografię Dzieżyca (1988), pracę Dzieżyca i Nowak (1993) oraz pracę Grabarczyka (1987). Analiza zwyczaj plonów uzyskiwanych pod wpływem nawadniania zarówno w poszczególnych doświadczeniach, jak i prezentowanych w wymienionych syntezach prowadzi do wniosku, że wielkość efektów produkcyjnych nawadniania roślin uzależniona jest przede wszystkim od rodzaju gleb, a szczególnie ich właściwości wodnych, określanych najczęściej za pomocą stopnia związłości. Znaczenie ma nie tylko związłość poziomu orno-próchniczego, ale również rodzaj

podłoża. Zgodnie z wynikami wielu doświadczeń, wielkość bezwzględnych i względnych zwyczajów plonu pod wpływem nawadniania oraz efekty jednostkowe wyrażone przyrostem plonu na 1 mm wody nawodnieniowej są tym większe, im gleba jest lżejsza. Największe efekty występują na glebach piaszczystych o niskim poziomie wód gruntowych, charakteryzujących się małą pojemnością wodną, a zatem małą zdolnością do ciągłego zaopatrywania roślin w wodę. Wraz ze wzrostem stopnia zwięzłości i retencji wodnej gleb efekty nawadniania systematycznie maleją. W nieliczonych doświadczeniach prowadzonych na glebach ciężkich lub bardzo ciężkich (mąda żuławska, gleba lessowa) nie uzyskano istotnych różnic w plonowaniu roślin nienawadnianych i nawadnianych. W niektórych latach zaznaczyło się nawet ujemne oddziaływanie nawadniania, np. wskutek zwiększenia stopnia wylegania roślin (Żarski, 2006).

W przypadku rozpatrywania wpływu czynnika glebowego na osiągnięte zwyczajki plonów poszczególnych gatunków i odmian ważne jest nie tylko określenie ich bezwzględnych, względnych i jednostkowych wielkości, ale również ocena możliwości plonotwórczych roślin, uprawianych na różnych glebach w warunkach nawadniania. Zwraca uwagę fakt, że plonowanie roślin nawadnianych na glebach niższych kategorii zaledwie dorównuje plonowaniu uzyskiwanemu na lepszych glebach bez nawadniania. W związku z tym nawadnianie roślin na glebach słabszych (kompleks żytni bardzo słaby, słaby i dobry) jest zabiegiem zaledwie wyrównującym ich szanse produkcyjne w stosunku do gleb lepszych (kompleks żytni bardzo dobry i kompleksy pszenne). Jednakże, co trzeba podkreślić, zabieg nawadniania na glebach kompleksów słabych pozwala na wprowadzenie do uprawy roślin intensywnych (głównie warzyw), które bez nawadniania na tego typu glebie nie mogłyby być uprawiane.

Badania naukowe, które są prowadzone w rejonie Bydgoszczy od ponad 40 lat, wykazały dużą celowość zastosowania nawadniania jako podstawowego czynnika plonotwórczego na glebach o małej zdolności retencyjnej. Osiągany pod wpływem tego zabiegu wzrost plonów był znacznie większy niż na glebach o większej zawartości części spławialnych. Przykłady efektów produkcyjnych osiągniętych pod wpływem nawadniania różnymi metodami na glebach kompleksów słabych przedstawiono w tabelach 1 i 2. Fotografie 1–3 obrazują przykłady nawadniania kropłowego (fot. 1) i zbioru (fot. 2 i 3) szparaga.

Tabela 1. Efekty produkcyjne nawadniania kropłowego wybranych upraw ogrodnich w rejonie Bydgoszczy

Gatunek rośliny	Średni wieloletni przyrost plonu (w nawiasach zakresy przyrostów plonów w wieloleciu)	
	t · ha ⁻¹	kg · mm ⁻¹
Burak ćwikłowy	17,4 (3,6–24,8)	108 (89–113)
Marchew jadalna	22,6 (6,8–37,2)	140 (44–162)
Rzodkiewka	6,5 (5,7–7,1)	100 (88–110)
Cukinia	26,2 (15,1–32,8)	104 (75–119)
Dynia olbrzymia	39,4 (33,5–45,2)	323 (266–447)
Dynia zwyczajna	32,9 (27,6–41,4)	143 (113–180)
Szparag	2,9 (2,0–4,1)	22 (16–32)
Aronia	6,2 (0,1–9,2)	35 (0,3–44)
Porzeczka	8,4 (1,6–11,8)	46 (9–63)
Truskawka	7,2 (0,5–10,6)	48 (2–84)

Tabela 2. Efekty produkcyjne deszczowania wybranych upraw rolniczych na glebie bardzo lekkiej w rejonie Bydgoszczy

Gatunek rośliny	Średni wieloletni przyrost plonu (w nawiasach zakresy przyrostów plonów w wieloleciu)	
	t · ha ⁻¹	kg · mm ⁻¹
Pszenica jara	2,27 (1,95–2,65)	19,2 (16,1–21,7)
Jęczmień jary	2,37 (1,14–3,73)	19,5 (15,2–20,0)
Owies	2,09 (1,28–3,32)	16,3 (12,8–21,1)
Burak cukrowy	19,8 (4,3–37,7)	115 (60–141)
Ziemniak wczesny	13,1 (6,7–22,6)	135 (62–231)
Ziemniak późny	19,8 (15,4–23,6)	138 (110–175)
Lubin żółty	1,04 (0,77–1,48)	9,5 (5,4–17,0)
Bobik	3,07 (1,38–4,20)	35,0 (22,3–46,7)
Kukurydza na ziarno	4,12 (1,80–6,42)	28,0 (31,1–38,9)

W praktyce stosowanie nawodnień zależy nie tyle od potrzeb i efektów określanych zwykłą plonu i poprawą jego jakości, ile od opłacalności przedsięwzięcia. Znając koszty nawodnień, jak również zwiększone koszty rolnicze (koszty zbioru zwiększonego plonu) oraz wartość osiąganych przyrostów produkcji (przyrostów plonów uzyskanych dzięki nawadnianiu), można obliczyć opłacalność nawadniania.



Fotografia 1. Nawadnianie kropkowe pędów asymilacyjnych szparaga (źródło: R. Rolbiecki)



Fotografia 2. Plantacja szparaga w trakcie zbiorów (źródło: R. Rolbiecki)



Fotografia 3. Wypustki szparaga w trakcie zbioru (źródło: R. Rolbiecki)

Oplacalność nawadniania mierzy się zwykle w wartościach względnych, odzwierciedlających stosunek między nakładami a wartością produkcji. Najczęściej efektywność nawadniania przedstawia się w postaci tzw. wskaźnika oplacalności. W tabeli 3 przedstawiono ekonomiczne efekty stosowania nawodnień w postaci wskaźnika oplacalności nawadniania wybranych gatunków roślin. Efektywność ekonomiczna nawadniania jest tym większa, im wyższa wartość wskaźnika oplacalności.

Tabela 3. Ekonomiczne efekty nawadniania (Jankowiak i Rzekanowski, 2006)

Gatunek rośliny	Wskaźnik oplacalności
Pszenica ozima	35–81
Ziemniak	121–217
Burak cukrowy	153–170
Kapusta głowiasta	241
Cebula	364–394
Marchew jadalna	419–529
Truskawka	447

Perspektywy nawadniania roślin w Polsce

Rolnictwo w dobrze funkcjonującej gospodarce kraju musi być nowoczesne i konkurencyjne. Nowoczesne, aby było zdolne do wprowadzania technologii dostosowanych precyzyjnie do wymagań nowych odmian roślin, w tym technologii ekologicznych, a ponadto nowego sprzętu i nowych środków ochrony. Wymogi jakościowe stawiane żywności wymagają stosowania na szeroką skalę precyzyjnych technik nawodnieniowych, umożliwiających fertygację i zaawansowaną automatyzację. Techniki nawodnieniowe przechodzą w większości krajów zmiany jakościowe, w wyniku czego grawitacyjne systemy powierzchniowe są zastępowane systemami ciśnieniowymi, zapewniającymi oszczędne gospodarowanie wodą.

Szczególnie ważny jest ostatni argument, bowiem obserwowane ostatnio zmiany klimatyczne przyczyniają się do wzrostu częstości i intensywności susz w rolnictwie. Możliwe do pozyskania w celach nawodnieniowych zasoby wody powinny być w Polsce wykorzystywane w sposób szczególnie racjonalny. Większość naukowców jest zgodna, że największe możliwości

stwarzają tu mikronawodnienia, dające szanse na wzrost powierzchni nawadnianej przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia wody (Łabędzki, 2009; Rolbiecki, 2013). Dopiero w dalszej kolejności przewidywany jest rozwój deszczowania i na końcu nawodnień podsiąkowych, głównie opartych na retencji własnej zlewni. Problem skoku jakościowego, w którym na pierwszym miejscu stawiana jest efektywność wykorzystania wody, z dużym sukcesem rozwiązywano już w innych krajach, np. w Izraelu. Dlatego wydaje się być przesądzone, iż nawodnienia znajdą zastosowanie w następujących obszarach związanych z rolnictwem: polowe towarowe warzywnictwo i sadownictwo, szklarnie i uprawy pod osłonami, deszczowanie upraw polowych, szkółkarstwo i produkcja leśnego materiału nasadzeniowego, tereny poddawane rekultywacji, przydomowe trawniki, ogrody i tereny rekreacyjne, nawodnienia podsiąkowe użytków zielonych.

Według Rzekanowskiego i in. (2011), analizując perspektywy rozwoju nawodnień, trzeba również uwzględnić źródła wody i możliwości jej pozyskiwania. Według różnych analiz, nawodnienia ciśnieniowe w Polsce do 2030 r. powinny objąć około 1 mln ha. Największe możliwości będą miały gospodarstwa z bezpośrednim dostępem do wody lub łatwością jej pozyskania, a więc te położone w pobliżu rzek, jezior i różnych zbiorników wodnych, bądź mające możliwość eksploatacji odnawialnych i płytko zalegających zasobów wód podziemnych. Takie warunki spełniają przykładowo obszary niecki mazowieckiej i łódzkiej. Z analiz przeprowadzonych w ośrodku bydgoskim wynika, że w Krainie Wielkich Dolin takie warunki spełniają gospodarstwa producenckie na około 750 tys. ha gleb. Są to potencjalnie tereny, na których w pierwszej kolejności powinno się propagować i wspierać rozwój nawodnień zarówno deszczownianych, jak i kropłowych.

Według przeprowadzonej analizy, źródeł wody do nawodnienia 750 tys. ha jest wystarczająco dużo. Przyjmując, że średnio w sezonie wegetacyjnym należałoby dostarczyć 1500 m^3 wody na 1 ha, potrzeba byłoby łącznie 1125 mln m^3 . Potencjalne zasoby wód w Krainie Wielkich Dolin wynoszą według szacunków kilkakrotnie więcej, nawet biorąc pod uwagę fakt, że jest to obszar o najniższym odpływie jednostkowym w Polsce (średnio $3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$). Według Rzekanowskiego i in. (2011), składałoby się na to: zatrzymanie 10% odpływu powierzchniowego, co w dużej części jest możliwe nawet w ramach małej retencji wodnej – daje to 2250 mln m^3 wody, wystarczającej do nawodnienia ponad 1,5 mln ha; eksploatacja łatwo

odnawialnych zasobów wód podziemnych – 1800 mln m³ wody do nawodnienia 1,2 mln ha. Przedstawione potencjalne zasoby liczą zatem 5025 mln m³ wody, co wystarczyłoby do nawodnienia 3,35 mln ha gruntów. Wydaje się więc, że wspomniane 750 tys. ha można byłoby właściwie nawodnić bez większych inwestycji w zakresie gospodarki wodnej. Jednak w dalszej perspektywie, kiedy pojawi się w Polsce konieczność realizacji nawodnień na większych powierzchniach gleb uprawnych, konieczne będą nowe inwestycje w celu zgromadzenia niezbędnych zasobów wody, co może być realizowane jako jedno ze składowych przedsięwzięć w regulowaniu całej gospodarki wodnej kraju.

Ciśnieniowe systemy nawadniające w uprawach polowych

W warunkach klimatycznych Polski nawadnianie jest zabiegiem wykorzystywanym głównie do uzupełniania niedoborów wodnych roślin, wynikłych z niedostatecznej ilości opadów oraz złego ich rozłożenia w sezonie wegetacyjnym. Z uwarunkowań ekonomicznych wynika, iż nawodnienia ciśnieniowe (mechaniczne) powinny być stosowane głównie na tych gruntach, gdzie wykluczony jest podsiąk kapilarny, tzn. tam, gdzie poziom wody gruntowej zalega bardzo głęboko. W uprawach, których nawadnianie jest uzasadnione ekonomicznie, należy je stosować nawet na glebach dobrej jakości. Do nawodnień ciśnieniowych, które są głównie wykorzystywane w polskim rolnictwie polowym, zaliczamy: **nawadnianie deszczowniane**, głównie deszczownie szpulowe bądź mostowe, oraz **nawadnianie kropłowe**.

Nawadnianie deszczowniane

W systemach deszczownianych woda jest doprowadzana rurociągami tłocznymi pod ciśnieniem do zraszaczy, z których wypływa w postaci strugi i rozdziela się na krople, spada na powierzchnię uprawną. W grupie urządzeń do nawodnień ciśnieniowych w Polsce dominują deszczownie. Jednostkowe zapotrzebowanie na wodę kształtuje się przy tym systemie od 0,8 do 1,1 l · s⁻¹ · ha⁻¹ powierzchni efektywnie nawadnianej. Stosowanie systemów deszczownianych wiąże się użyciem dużej ilości energii do wytworzenia ciśnienia roboczego zraszaczy rzędu 0,3–0,6 MPa, co podnosi koszty produkcji, a przez to może być czynnikiem ograniczającym wprowadzenie

deszczowania do szerokiej praktyki rolniczej (Nyc, 1996; Pływaczyk, 2006; Rolbiecki, 2013).

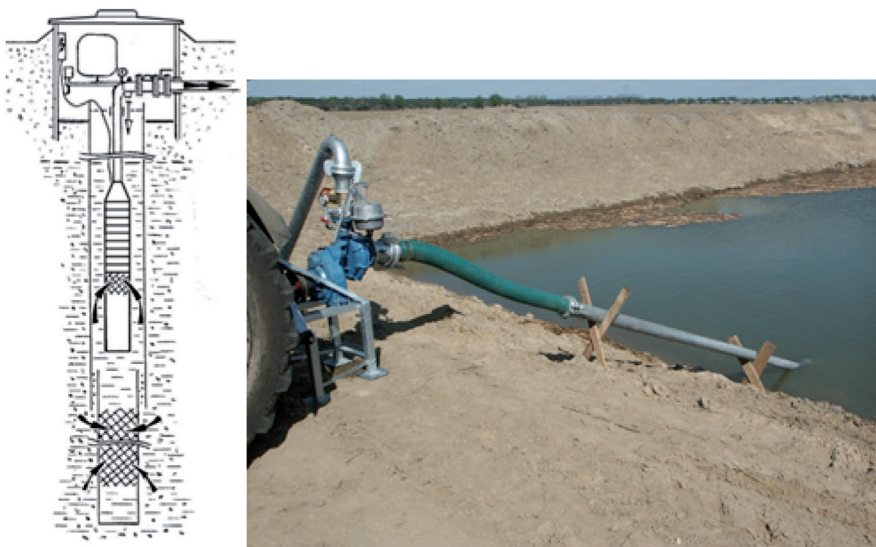
Budowa systemu deszczującego obejmuje (Łuszczuk, 2000; Drupka, 2006):

- ujęcie wody i agregat pompowy stanowiący źródło ciśnienia roboczego,
- linie przesyłowe w postaci rurociągów ciśnieniowych, transportujące wodę od agregatu pompowego do nawadnianych pól,
- urządzenia deszczujące, które rozdeszczowują wodę po powierzchni.

Ujęcie wody

Jest to najistotniejszy i najtrudniejszy do rozwiązania problem, a niekiedy najkosztowniejszy element całego systemu nawadniającego. Od wydajności źródła wody i pozwolenia na jej czerpanie będzie bowiem zależała wielkość plantacji możliwa do nawodnienia. Możemy wyróżnić następujące ujęcia wody (fot. 4):

- powierzchniowe (jezioro, rzeka, kanał itp.),
- podpowierzchniowe (pompa głębinowa).



Fotografia 4. Przykłady podpowierzchniowego (studnia głębinowa) i powierzchniowego (staw) ujęcia wody (źródło: Łukomet)

Agregaty pompowe

Wyróżniamy następujące agregaty pompowe:

- agregaty elektryczne – najtańsze w eksploatacji,
- agregaty spalinowe,
- agregaty ciągnikowe.

Jak podaje Łuszczuk (2009), w Polsce najtańsze w eksploatacji są pompownie (agregaty) elektryczne (fot. 5 i 6). Konkurencyjne są również w kosztach inwestycyjnych pod warunkiem, że nie musimy budować linii energetycznych i stacji transformatorowej, a pompownia jest prowizoryczna i nie wymaga budynku. Pompy głębinowe są najtańsze, a ich olbrzymia gama umożliwia wybór optymalnych parametrów, aby system mógł pracować z największą sprawnością energetyczną. Tam, gdzie nie ma możliwości stosowania pomp elektrycznych, należy stosować pompy spalinowe lub ciągnikowe (fot. 7 i 8). Pompownia ciągnikowa kosztuje 2–3 razy mniej niż elektryczna, natomiast pompownia spalinowa będzie od niej 2–3 razy droższa. Koszty eksploatacji tych pompowni są wyższe z powodu różnicy cen nośników energii: 1 kWh energii elektrycznej jest 2 razy tańsza od 1 kWh energii z oleju napędowego.



Fotografia 5. Pompownia elektryczna (źródło: Łukomet)



Fotografia 6. Elektryczny agregat pompowy (źródło: Łukomet)



Fotografia 7. Spalinowy agregat pompowy (źródło: Łukomet)



Fotografia 8. Ciągnikowy agregat pompowy (źródło: Łukomet)

Linie przesyłowe

Linie przesyłowe (rurociągi) mogą być:

- podziemne (stałe) – z rur żeliwnych lub PE, zakończone hydrantami,
- naziemne (przenośne) – węże z PE.

Lokalizacja nawadnianego pola w pobliżu źródła wody jest niezmiernie rzadka, dlatego zachodzi potrzeba transportowania wody na pole. Wiąże się to zawsze ze stratami ciśnienia, które pociągają za sobą wymóg wyższego ciśnienia wyjściowego na pompie, a to z kolei wymaga większego zużycia energii. Aby zminimalizować straty ciśnienia ponoszone na transport wody oraz różnice wysokości, należy optymalnie zaprojektować średnicę rurociągów przesyłowych. Według Łuszczyka (2009), zasadą przy projektowaniu deszczowni jest, aby jak największa część rurociągu podziemnego była corocznie eksploatowana mimo płodozmianu niewymagającego nawadniania. Rurociąg podziemny możemy układać już na głębokości 40–70 cm i na zimę odwadniać, jeśli są to rury PCV, lub pozostawić nawet z wodą, kiedy stosujemy węże PE. Na przesyłowe rurociągi naziemne stosowane są węże PE (fot. 9) o średnicy do 110 mm w odcinkach nawet 1000 m, deszczowniane rury aluminiowe (fot. 10) lub stalowe ocynkowane o długości segmentu 6 m i średnicy do 200 mm z szybkozłączami dźwigniowymi oraz węże płaskie o dużej wytrzymałości i trwałości, średnicach nawet do 300 mm i długości do 200 m w jednym odcinku.

Urządzenia deszczujące

Najbardziej popularne urządzenia zraszające w Polsce:

- deszczownie szpulowe – wąż nawinięty na bęben zakończony działkiem wodnym (zraszacz o dużej średnicy) bądź konsolą,
- deszczownie mostowe (centryczne, frontalne).

W polskich warunkach umiarkowanego klimatu i rozdrobnionych gospodarstw najczęściej stosowana jest deszczownia bębnowa przewoźna, zwana szpulową (fot. 11a, b). Na dwukołowym podwoziu i obrotowej wieży umocowana jest szpula o poziomie osi obrotu. Na szpulę nawinięty jest wąż polietylenowy zakończony zraszaczem na wózku (fot. 12) bądź konsolą (fot. 13). Wąż rozwijany jest ciągnikiem, a zwijanie następuje samoczynnie pod dzia-

łaniem przepływającej przez turbinę wody (dostarczonej pod ciśnieniem z hydrantu lub bezpośrednio z pompowni). Wytryskująca z sektorowego działka (jadącego na wózku w kierunku szpuli) woda pod ciśnieniem kilku atmosfer nawadnia pas pola o szerokości kilkudziesięciu metrów i długości nieco większej niż długość węża (zazwyczaj kilkaset metrów) (fot. 14). Wielkość aplikowanej jednorazowo dawki polewowej można zmieniać bezstopniowo dobierając odpowiednią prędkość zwijania węża (Łuszczuk 2009).



Fotografia 9. Deszczowniane węże przesyłowe PE (źródło: R. Rolbiecki)



Fotografia 10. Deszczowniane rury aluminiowe (źródło: Łukomet)



Fotografia 11a. Deszczownia szpulowa zakończona zraszaczem (źródło: Łukomet)



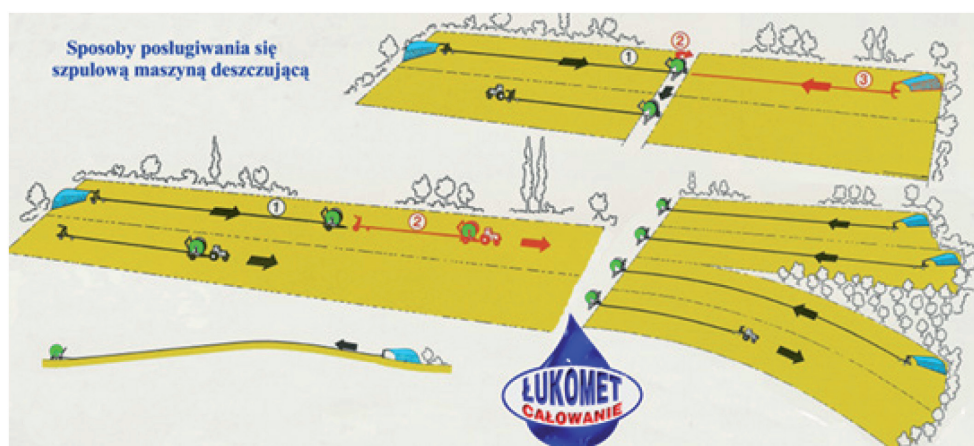
Fotografia 11b. Deszczownia szpulowa (źródło: R. Rolbiecki)



Fotografia 12. Deszczownia szpulowa zakończona zraszaczem w czasie pracy (źródło: R. Rolbiecki)



Fotografia 13. Deszczownia szpulowa zakończona konsolą w czasie pracy (źródło: R. Rolbiecki)



Fotografia 14. Schemat pracy deszczowni szpulowej zakończonej zraszaczem (źródło: Łukomet)

Ciekawymi i mającymi perspektywę rozwoju urządzeniami do nawodnień deszczownianych, wpisującymi się w tzw. rolnictwo precyzyjne, są deszczownie mostowe (przęsłowe) – zarówno liniowe, jak i centryczne (fot. 15a, b). Deszczownie mostowe (przęsłowe) są stosowane na plantacjach wielkoobszarowych. W celu zmniejszenia kosztów inwestycyjnych, w przeliczeniu na jeden hektar, najlepiej stosować kilkusetmetrowe maszyny pozwalające obsłużyć powierzchnię 50–150 ha. W Polsce nie są jeszcze bardzo popularne, jednak można spotkać już deszczownie mostowe IRTEC

oraz Valley firmy Valmont. Urządzenie to wpisuje się w koncepcję rolnictwa precyzyjnego, gdyż przy niskim ciśnieniu (4 atm) można przy jego użyciu, w ramach jednego przejazdu maszyny, stosować różne dawki polewowe, dostosowane do aktualnych warunków wilgotnościowych gleby bądź uprawianych różnych gatunków roślin.



Fotografia 15a. Deszczownia mostowa w czasie pracy (źródło: R. Rolbiecki)



Fotografia 15b. Deszczownia mostowa w czasie pracy (źródło: R. Rolbiecki)

Nawadnianie kropłowe

W ostatnich latach w Polsce obserwuje się wzrost zainteresowania producentów, głównie roślin ogrodniczych, systemem nawadniania kropłowego. System ten z reguły znajduje zastosowanie w uprawach rzędowych. Coraz częściej również można go spotkać w uprawie ziemniaków. W wielu krajach (USA, Ameryce Południowej, Japonii, Europie Zachodniej, m.in. Grecji, Hiszpanii, Niemczech, Holandii) jest to jeden z najpopularniejszych sposobów uzupełniania niedoborów wody w glebie. Nawodnienie kropłowe polega na zwilżaniu gleby wodą podawaną w określonym miejscu w postaci pojedynczych kropel bądź strużek. Woda podawana jest punktowo poszczególnym roślinom z elastycznych przewodów za pośrednictwem tzw. emiterów kropel (kroploowników).

Budowa systemu kropłowego obejmuje (wg Kaniszewskiego, 2005):

- ujęcie wody (studziennej lub napowierzchniowej),
- urządzenia pompujące, tłoczące wodę do sieci nawadniającej,
- urządzenia kontrolne i sterujące (wodomierze, manometry, zawory),
- dozownik nawozów mineralnych,
- filtry lub zespoły uzdatniające wodę,
- rurociągi doprowadzające i rozdzielcze,
- emiterzy (linie, kroploowniki).

Budowa systemu nawadniania kropłowego w wielu punktach jest zbieżna z budową systemu deszczującego, różni się głównie obecnością w systemie urządzeń filtrujących, dozujących nawozy (fot. 16) i specyficznych elementów dostarczających wodę do rośliny (emiterów) (fot. 17 i 18).

Popularność tego systemu wynika z wielu jego zalet (Kaniszewskim 2005). Są to m.in.:

- możliwość utrzymania optymalnej wilgotności gleby w strefie systemu korzeniowego,
- oszczędność wody wskutek ograniczenia parowania z powierzchni gleby, spływu powierzchniowego oraz infiltracji,
- oszczędności energetyczne (oszczędne zużycie wody oraz praca przy niskich ciśnieniach zmniejsza zapotrzebowanie na energię, które wynosi 20–25% potrzeb niezbędnych do nawodnień deszczownianych),

- możliwość stosowania nawadniania w sposób ciągły przy minimalnym nakładzie pracy,
- mniejsze ryzyko porażenia roślin przez patogeny chorobotwórcze wywołujące choroby grzybowe i bakteryjne, ponieważ podczas nawadniania nie zwilża się bezpośrednio roślin,
- współczynnik wykorzystania wody przy tym systemie wynosi 90–95% (przy deszczowaniu 70–80%).



Fotografia 16. Precyzyjny mieszalnik nawozów (źródło: S. Sositko)



Fotografia 17. Zastosowanie powierzchniowego kroplowego emitera liniowego w uprawie cebuli (źródło: R. Rolbiecki)



Fotografia 18. Zastosowanie powierzchniowego emitera liniowego w uprawie dyni zwyczajnej (źródło: R. Rolbiecki)

System nawadniania kropłowego zaliczany jest do systemów wodno-energooszczędnych. Zużycie wody w stosunku do deszczowania bywa mniejsze o 20–30%. Wymagane ciśnienie robocze w rurociągach wynosi 0,01–0,02 MPa. Duża równomierność rozprowadzania wody i (ewentualnie) składników pokarmowych, a także wysoka efektywność jej poboru przez system korzeniowy roślin sprzyjają zwiększeniu plonu przy zachowaniu zasady zrównoważonego rozwoju. Systemy te spełniają wymogi tzw. rolnictwa precyzyjnego. Poprzez bardzo dużą energo- i zasobooszczędność (niskie zużycie wody pod niskim ciśnieniem) oraz miejscowe zaopatrywanie roślin w wodę pozwalają na tworzenie precyzyjnych układów przyrodniczo-techniczno-ekonomicznych, harmonijnie wkomponowanych w środowisko rolnicze (Nyc, 1996). Jednak system ten, z racji wydatkowania wody przez kropłowniki z mikroszczelinami, jest bardzo wrażliwy na jakość wody używanej do nawadniania. Woda musi być dobrze oczyszczona, głównie z zanieczyszczeń stałych, które zapychają emitery kropel. W dobie coraz doskonalszych rozwiązań technicznych (coraz lepsze urządzenia filtrujące) problem zatykania się emiterek kropel staje się coraz mniej kłopotliwy.

Podsumowanie

Potrzeby i efekty nawadniania roślin w Polsce zależą od wysokości i rozkładu opadów atmosferycznych w okresach wzmożonych potrzeb wodnych oraz od rodzaju gleby. Są tym wyższe, im niższe i gorzej rozłożone są opady oraz im mniejszą zdolność retencjonowania wody ma gleba. W praktyce rozwój nawodnień zależy nie tyle od potrzeb i efektów określanych zwyczają plonu i poprawą jego jakości, ile od ekonomicznej efektywności przedsięwzięcia. Dlatego najważniejszym obszarem rozwoju nawodnień jest produkcja ogrodnicza. Rozwój nawadniania roślin w najbliższym czasie jest przesądzony, głównie ze względu na potrzebę wzrostu nowoczesności i konkurencyjności gospodarstw rolniczych.

Obserwując tendencje w rozwoju technik nawadniania roślin polowych, uzasadnionym wydaje się stwierdzenie, że w niedalekiej przyszłości podstawowymi sposobami uzupełniania niedoborów opadów w uprawie roślin będzie stosowanie ciśnieniowych systemów nawadniających. Systemy te wychodzą naprzeciw zrównoważonemu rozwojowi współczesnego rolnictwa oraz wpisują się w rolnictwo precyzyjne (deszczownia mostowa, nawadnianie kropłowe). System kropłowy poprzez bardzo dużą energo- i zasobooszczędność (małe zużycie wody pod niskim ciśnieniem) oraz miejscowe zaopatrywanie roślin w wodę pozwala na tworzenie precyzyjnych układów przyrodniczo-techniczno-ekonomicznych, harmonijnie wkomponowanych w środowisko rolnicze.

Literatura

- Drupka, S. (2006). *Budowa i eksploatacja deszczowni*, [w:] S. Karczmarczyk i L. Nowak (red.), Nawadnianie roślin. Poznań: PWRiL, 199–233.
- Dziężyc, J. (1988). *Rolnictwo w warunkach nawadniania*. Warszawa: PWRiL, 1–416.
- Dziężyc, J., Trybała, M. (1989). *Rola wody w intensyfikacji produkcji roślinnej na glebach lekkich*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 377, 179–192.
- Dziężyc, J., Nowak, L. (1993). *Deszczowanie*, [w:] J. Dziężyc (red.), *Czynniki plonotwórcze – plonowanie roślin*. Warszawa-Wrocław: PWN, 329–352.
- European Environment Agency (2009). *Water resources across Europe confronting water scarcity and drought*. Report No 2. <https://www.eea.europa.eu/publications/water-resources-across-europe/>
- Grabarczyk, S. (1987). *Efekty, potrzeby i możliwości nawodnień deszczownianych w różnych regionach kraju*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 314, 49–64.

- Jankowiak, J., Rzekanowski, C., (2006). *Ekonomiczne efekty nawadniania*, [w:] S. Karczmarczyk i L. Nowak (red.), Nawadnianie roślin. Poznań: PWRiL, 461–479.
- Kaniszewski, S. (2005). *Nawadnianie warzyw polowych*. Kraków: PlantPress, 1–90.
- Karczmarczyk, S. (1999). *Zbiór referatów dotyczących problematyki nawadniania zbóż*. Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis. Agricultura, 193, (73), 1–220.
- Kundzewicz, Z. (2007). *Projekcje zmian klimatu – ekstrema hydrometeorologiczne*. Poznań: I Polska Konferencja ADAGIO.
- Kuchar, L., Iwański, S., Diakowska, E., Gąsiorek, E. (2015). *Symulacja warunków hydrologicznych w północnej części centralnej Polski w perspektywie lat 2050–2060 dla potrzeb produkcji roślinnej i wybranych scenariuszy klimatycznych*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2, 319–334.
- Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P., Naylor, R.L. (2008). *Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030*. Science, 319, 607–610.
- Łabędzki, L. (2009). *Przewidywane zmiany klimatyczne a rozwój nawodnień w Polsce*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 3, 7–18.
- Łabędzki, L., Kanecka-Geszke, E., Bąk, B., Słowińska, S., (2011). *Estimation of reference evapotranspiration using the FAO Penman-Monteith method for climatic conditions of Poland*, [w:] L. Łabędzki (ed.), Evapotranspiration. InTech, Rijeka, 1–446.
- Łuszczuk, K. (2000). *Instrukcja projektowania i cennik urządzeń nawadniających*. Całowanie: Łukomet (druk ulotny).
- Łuszczuk, K. (2009). *Nakłady na nawadnianie plantacji roślin towarowych*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 6, 303–315.
- Nyc, K. (1996). *Ekonomiczne systemy nawadniające*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 438, 125–132.
- Pierzgałski, E., Jeznach, J. (2006). *Measures of soil water control in Poland*. Journal Water and Land Development, 10, 79–89.
- Pływaczyk, A. (2006). *Systemy i technologie nawadniania*, [w:] S. Karczmarczyk i L. Nowak (red.), Nawadnianie roślin. Poznań: PWRiL, 199–233.
- Rolbiecki, R. (2013). *Ocena potrzeb i efektów mikronawodnień szparaga (*Asparagus officinalis* L.) na obszarze szczególnie deficytowym w wodę*. Bydgoszcz: Rozprawy UTP, 1–103.
- Rzekanowski, C., Źarski, J., Rolbiecki, S. (2011). *Potrzeby, efekty i perspektywy nawadniania roślin na obszarach szczególnie deficytowych w wodę*. Postępy Nauk Rolniczych, 1, 51–63.
- Treder, W., Klamkowski, K., Tryngiel-Gać, A. (2019). *Techniczne i technologiczne możliwości oszczędzania wody do nawadniania roślin uprawnych*. Skierniewice: Instytut Ogrodnictwa w Skierniewicach.
- Źarski, J. (2006). *Potrzeby i efekty nawadniania zbóż*, [w:] S. Karczmarczyk i L. Nowak (red.), Nawadnianie roślin. Poznań: PWRiL, 383–403.

WODA W MIEŚCIE

PAWEŁ FALACIŃSKI, ANNA SOSNOWSKA

Wprowadzenie

Woda odgrywa fundamentalną rolę w życiu każdego organizmu i w funkcjonowaniu każdego ekosystemu, a jej znaczenie w środowisku zurbanizowanym jest szczególnie istotne. Miasta to złożone systemy pełniące funkcje społeczne, gospodarcze i przestrzenne, które są silnie uzależnione od dostępności zasobów wodnych. Zasoby te wykorzystywane są do zabezpieczenia podstawowych, bytowych potrzeb mieszkańców, jak również w kontekście różnego rodzaju infrastruktury, np. transportowej, energetycznej, a także w gospodarowaniu odpadami, rekreacji czy turystyce. Woda jest zatem nie tylko zasobem naturalnym, ale również kluczowym elementem struktury i dynamiki miejskiej (Novotny, 2008).

W obliczu szybkiego tempa urbanizacji obserwowanego globalnie od drugiej połowy XX wieku, wzrasta presja na naturalne zasoby wodne. Według raportu IPCC (Lwasa i inni, 2022), już ponad połowa światowej populacji mieszka w miastach, a prognozy wskazują, że do 2050 roku odsetek ten wzrośnie do około 70%. Tak intensywny rozwój miast niesie ze sobą poważne konsekwencje dla gospodarki wodnej, w tym zwiększone zapotrzebowanie na wodę pitną, intensyfikację zrzutów ścieków, ograniczenie powierzchni biologicznie czynnych oraz wzrost ryzyka występowania ekstremalnych zjawisk hydrologicznych, takich jak powodzie miejskie i susze miejskie (Kudłacz, Węgrzyn i Kutek, 2022).

Urbanizacja prowadzi do przekształcenia naturalnych obiegu wody – uszczelnienie powierzchni terenu ogranicza infiltrację wody do gruntu i zwiększa odpływ powierzchniowy, co skutkuje przeciążeniem systemów kanalizacji deszczowej i wzrostem zagrożenia powodziowego (Absalon i Matysik, 2016). Jednocześnie rosnąca liczba mieszkańców generuje większe zapotrzebowanie na wodę, co prowadzi do nadmiernej eksploatacji ujęć wód powierzchniowych i podziemnych. W wielu miastach obserwuje się również degradację jakości wód na skutek skażenia ściekami komunalnymi, przemysłowymi i rolniczymi, co pogarsza warunki życia mieszkańców i zmniejsza możliwości rozwoju gospodarczego. Problematyka ta staje się szczególnie istotna w kontekście zmian klimatu, które prowadzą do zmienności opadów i wzrostu częstości ekstremalnych zjawisk pogodowych, dodatkowo komplikując zarządzanie wodą w miastach (Kundzewicz, Hov i Okruszko, 2017).

W odpowiedzi na te wyzwania miasta na całym świecie coraz częściej wdrażają strategie zrównoważonego zarządzania wodą, takie jak systemy błękitno-zielonej infrastruktury (*blue-green infrastructure*), rozwiązania oparte na przyrodzie (*nature-based solutions*), retencję wód opadowych, rewitalizację cieków wodnych, promowanie wykorzystania wody deszczowej i szarej, a nawet wykorzystywanie ścieków do produkcji wody przemysłowej, jak np. w Singapurze (United States Environmental Protection Agency, 2025). Rozwiązania te mają na celu nie tylko ograniczenie negatywnego wpływu urbanizacji na środowisko wodne, lecz także poprawę jakości życia mieszkańców, zwiększenie odporności miast na zmiany klimatu oraz integrację gospodarki wodnej z planowaniem przestrzennym i polityką rozwoju miejskiego.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie roli wody w funkcjonowaniu miast oraz analiza wpływu procesów urbanizacyjnych na gospodarkę wodną w kontekście współczesnych wyzwań środowiskowych, społecznych i technologicznych. W pracy omówione zostaną zarówno negatywne skutki urbanizacji, jak i dobre praktyki oraz innowacyjne rozwiązania w zakresie zrównoważonego zarządzania wodą. Zostanie także dokonana próba klasyfikacji głównych problemów wodnych typowych dla obszarów miejskich oraz zaprezentowane wybrane studia przypadków z Polski i ze świata, które mogą stanowić inspirację dla krajowych strategii zarządzania zasobami wodnymi w miastach.

Woda jako kluczowy element funkcjonowania miast

Znaczenie wody w życiu miejskim

Woda odgrywa fundamentalną i wielowymiarową rolę w powstawaniu i rozwoju miast. Biorąc pod uwagę jej znaczenie historyczne, woda była pierwotnym czynnikiem decydującym o lokalizacji pierwszych ośrodków miejskich (Bednarz, 2018). Rzeki i jeziora zapewniały nie tylko dostęp do wody pitnej, ale także wzmacniały system obronny, ułatwiały handel oraz wpływały na rozwój gospodarczy, demograficzny i polityczny miast. Często „serca miast”, rozumiane jako przestrzeń integracji mieszkańców, były właśnie przy studniach i fontannach (Januchta-Szostak, 2008).

Podstawową funkcją wody jest jej znaczenie jako niezbędnego zasobu. Jako podstawa do funkcjonowania człowieka jest ona wykorzystywana do celów sanitarnych, a także jest podstawą do funkcjonowania przemysłu. W warunkach miejskich ten aspekt jest szczególnie istotny, ponieważ intensywny pobór wód prowadzi do zmian w bilansie wodnym (Uchnast-Nowicka, 1981).

Kolejnym aspektem wartym podkreślenia jest rola wody w kształtowaniu mikroklimatu i środowiska miejskiego. Wraz z zielenią miejską woda pozytywnie wpływa na poziom wilgotności powietrza i lokalne obniżenie jego temperatury, przez co jest kluczowym elementem w walce z efektem „miejskich wysp ciepła” (Klimowicz, 2018).

Ponadto jest także elementem kompozycji architektonicznej i krajobrazowej o bardzo dużym znaczeniu. Jej walory plastyczne mają fundamentalne znaczenie dla kreowania przestrzeni miejskich o wysokiej jakości (Uchnast-Nowicka, 1981). Istnieje wiele przykładów budowli, które zyskały sławę właśnie dzięki umiejętnemu wykorzystaniu potencjału architektonicznego wody; budynek Opery w Sydney, Ciudad de las Artes y las Ciencias w Walencji czy Musée des Confluences w Lyonie to tylko niektóre z nich.

Oprócz tego woda jest także kluczowym elementem przestrzeni publicznych i rekreacyjnych w miastach, głównie dzięki temu, że tworzy specyficzny charakter i atmosferę docenianą przez mieszkańców (Węclawicz-Gyurkovich, 2010; Seruga, 2018).

Główne wyzwania związane z wodą w miastach

Wyzwania dotyczące gospodarowania wodą w miastach są wieloaspektowe, a ich źródła mają charakter naturalny (cechy hydrologiczne), jak i antropogeniczny (postępująca urbanizacja, zmiany klimatyczne).

Najważniejszym i najbardziej powszechnym problemem dotyczącym wody w miastach, wynikającym bezpośrednio z postępującej urbanizacji, jest intensywny pobór wody na różnorodne potrzeby, co prowadzi do zwiększonej presji na środowisko naturalne i zaburzeń bilansu wodnego. Urbanizacja powoduje istotne zmiany w obiegu wody, ponieważ wpływa na zwiększenie powierzchni nieprzepuszczalnych, nasilenie odpływu powierzchniowego i obniżenie poziomu wód podziemnych. Jednocześnie zmiany klimatyczne prowadzą do intensyfikacji ekstremalnych zjawisk pogodowych, takich jak ulewne deszcze czy powodzie (Kundzewicz, Hov i Okruszko, 2017). W wyniku tego systemy kanalizacyjne nie są w stanie poradzić sobie z okresowym nadmiarem wody, co prowadzi do zalewania miast i uszkodzeń infrastruktury. Przeciwdziałanie tym problemom wymaga nie tylko poprawy infrastruktury wodnej, ale także rozwiązań zwiększających retencję wodną.

Intensywne użytkowanie terenu w miastach skutkuje wysokim poziomem zanieczyszczenia środowiska. Główne źródła zanieczyszczeń w Polsce to ścieki przemysłowe, komunalne i kopalniane (Kapler, 2022). W wielu miastach woda powierzchniowa i opadowa jest zanieczyszczona przez substancje organiczne, metale (w tym żelazo i metale ciężkie), a także zanieczyszczenia chemiczne pochodzące z przemysłu i transportu (Grabińska, Koc i Glińska-Lewczuk, 2005). Zanieczyszczenia te, przedostając się do wód gruntowych oraz systemów wodociągowych, mogą prowadzić do rozprzestrzeniania się chorób (Kabziński, 2002; Ociepa, Kisiel i Lach, 2010).

Problemy związane z jakością wody i jej zanieczyszczeniem pozostają ściśle związane ze stanem technicznym miejskiej infrastruktury. Przestarzałe systemy wodociągowe oraz kanalizacyjne w miastach stanowią jedno z największych wyzwań związanych z zarządzaniem wodą. Także brak odpowiedniej infrastruktury do przechwytywania wód opadowych sprawia, że miastom trudno radzić sobie z odprowadzaniem wód deszczowych i zanieczyszczeń. Dodatkowo koszty modernizacji takiej infrastruktury są ogromne (Kwietniewski, 2011), a wymagana adaptacja do zmieniającego się klimatu może wpłynąć na dalsze obciążenie budżetów miejskich.

Kolejnym istotnym problemem charakterystycznym dla miast jest powstawanie powodzi błyskawicznych związanych z opadami nawałnymi. W tabeli 1 zestawiono informacje dotyczące podtopień i powodzi wywołanych intensywnymi opadami deszczu w Warszawie. Zestawienie to bazuje na informacjach prasowych z ostatnich 10 lat i wynika z niego, że w Warszawie nastąpiło przynajmniej kilkanaście takich wydarzeń.

Tabela 1. Zestawienie informacji prasowych o podtopieniach wywołanych opadami w Warszawie w ciągu ostatnich 10 lat

Lp.	Data	Miejsce (przykładowe lokalizacje zgłaszane w mediach)
1	13.07.2016	Mokotów/Ursynów: al. Wilanowska, Dolina Służewiecka, al. Rodowicza „Anody”, ul. Taneczna, Hawajska; utrudnienia na Trasie Łazienkowskiej
2	28.07.2017	S8 (pasy lokalne) pod wodą; grad na Ursynowie
3	29.07.2017	Zamykane łącznice S2↔S79 z powodu wody na jezdni
4	03.08.2018	Wschodnia Warszawa: Białołęka, Rembertów; zalane centrum handlowe przy ul. Jubilerskiej
5	22.06.2019	Wesoła – Stara Miłosna: zalane ulice, garaże i piwnice
6	21.06.2020	Zalania m.in. Rondo Żaba, Wisłostrada
7	22.06.2020	Liczne podtopienia; m.in. ul. Radarowa
8	29.06.2020	Paraliż po ulewie: plac Trzech Krzyży, Emilii Plater, Grójecka, Żwirki i Wigury, Al. Jerozolimskie/Łopuszańska, Wisłostrada; czasowo zamknięta stacja metra Ratusz-Arsenał
9	12.07.2021	Ursynów: zalany zjazd z Doliny Służewieckiej do al. KEN; zalania także w Śródmieściu
10	16.07.2021	Zalania na Trasie Łazienkowskiej przy stadionie Legii i na innych arteriach
11	08.07.2022	Zalania w Warszawie; m.in. Wisłostrada w okolicach mostu Gdańskiego
12	30.08.2023	S8 kompletnie nieprzejezdna na wysokości ul. Mickiewicza
13	22.10.2023	Ulewa zalała m.in. ul. Łopuszańską; liczne interwencje
14	20.08.2024	Rekordowa ulewa: nieprzejezdna S8; przerwany wał na Potoku Służewieckim (Błonia Wilanowskie, ul. Melonowa); zalany terminal Lotniska Chopina; setki interwencji
15	14.05.2025	Praga-Północ: zalane torowisko tramwajowe na ul. Targowej po burzy
16	09.07.2025	Białołęka: zalane garaże i piwnice po intensywnych opadach

Źródło: opracowanie własne na podstawie artykułów na portalach tvn24.pl, metro.waw.pl, onet.pl, polsat.news.pl i in.

Podobne zdarzenia mają miejsce w miastach na całym świecie, np. ostatnio w Paryżu – 3 maja 2025 (nowin.pl, 2025) i 25 czerwca 2025 (wp.pl, 2025). Jednym z najbardziej spektakularnych przykładów powodzi miejskiej w ostatnim czasie była powódź w Walencji w 2024 roku (fot. 1). W wyniku bardzo intensywnych opadów deszczu związanych ze zjawiskiem przyrodniczym o nazwie DANA (izolowana depresja na dużych wysokościach, hiszp. *depresión aislada en niveles altos*, lub „zimna kropla”) w Walencji i jej okolicach doszło do powodzi błyskawicznych, na skutek których śmierć poniosło ponad 200 osób (National Geographic, 2024), a koszty odbudowy infrastruktury wyceniane są na ponad 2,6 miliarda euro (EFE, 2024).



Fotografia 1. Autostrada w Walencji po powodzi w 2024 roku

Źródło: (EFE, 2024)

Fragmentacja instytucji i brak koordynacji w zarządzaniu zasobami wodnymi w miastach prowadzą do nieskutecznego reagowania na kryzysy związane z wodą (Bolognesi, Pinto i Farrelly, 2023). W wielu miastach brak spój-

nej polityki wodnej oraz rozproszenie odpowiedzialności między różnymi instytucjami sprawiają, że zarządzanie wodą staje się chaotyczne i nieefektywne. Współczesne wyzwania związane z wodą wymagają podejścia zintegrowanego, w którym kluczową rolę odgrywają nie tylko władze lokalne, ale także organizacje pozarządowe i społeczeństwo obywatelskie (OECD Studies on Water, 2016).

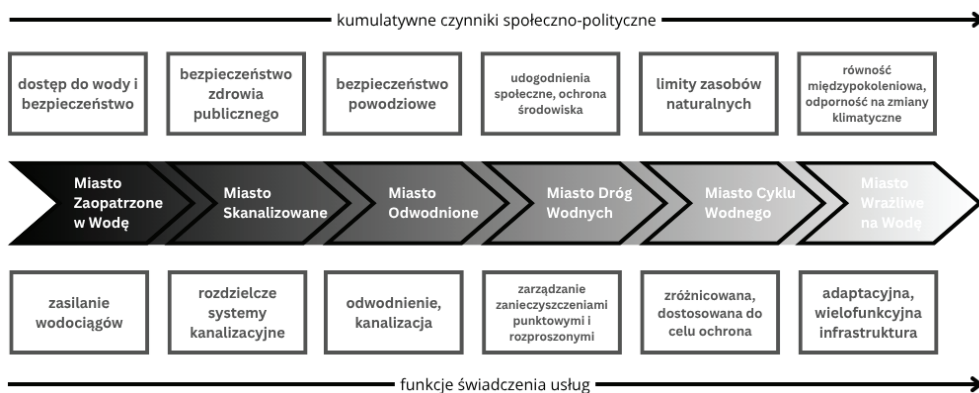
Współczesne technologie, takie jak Zrównoważone Systemy Odwodnienia Miejskiego (SUDS), Internet Rzeczy (IoT), systemy inteligentne i gospodarka o obiegu zamkniętym, oferują nowe możliwości w zakresie zarządzania wodą w miastach. Wdrażanie technologii opartych na monitorowaniu, analizie i efektywnym zarządzaniu wodą staje się kluczowe w przeciwdziałaniu problemom związanym z wodą. SUDS, które promują naturalne procesy retencji wody w miastach, mogą znacząco poprawić lokalny bilans wodny (Monachese i inni, 2025). Technologie IoT pozwalają na efektywne monitorowanie przepływu wody oraz wczesne wykrywanie awarii w infrastrukturze (Goldstein, 2020). Wprowadzenie innowacyjnych rozwiązań opartych na technologii staje się niezbędne do zapewnienia zrównoważonego i sprawiedliwego zarządzania wodą w miastach.

Systemy gospodarki wodnej w miastach – rys historyczny

Historia wykorzystania zasobów wodnych jako podstawy rozwoju cywilizacyjnego ma swoje początki w starożytności. Jak dowodzą liczne źródła, starożytne społeczeństwa intensywnie wykorzystywały zarówno zasoby wód powierzchniowych (Macklin i Lewin, 2015), jak i wody deszczowe (Yannopoulos, Giannopoulou i Kaiafa-Saropoulou, 2019). Także w czasach nowożytnych kluczowym aspektem decydującym o lokalizacji miast była dostępność wody. W (Słodczyk, 2014) autor podaje liczne przykłady miast zlokalizowanych przy ujściu dużej rzeki (Hamburg, Rotterdam, Gdańsk), u zbiegu dwóch rzek (Lyon, Frankfurt), czy na wyspie otoczonej wodami rzeki (Paryż, Poznań, Wrocław i Opole).

Wraz z rozwojem cywilizacyjnym perspektywa korzystania z wód w miastach ulega zmodyfikowaniu. Początkowo istotne były aspekty strategiczne, takie jak dostęp do zasobów czystej wody oraz bezpieczeństwo w kontekście

obronności. Później, na skutek rozrastania się miast i coraz większej liczby ich mieszkańców, ważną rolę zaczęły odgrywać także aspekty związane z odprowadzeniem ścieków i wód opadowych z obszarów miejskich. Następnie wraz z rozwojem technologicznym i wzrostem świadomości cywilizacyjnej nastąpił rozwój takich aspektów jak zagospodarowanie wód opadowych, a potem racjonalne gospodarowanie wodą w miastach i ochrona tego zasobu. Ta zmiana w postrzeganiu wody została bardzo dobrze ujęta w artykule (Brown, Keath i Wong, 2008), w którym zaproponowano typologię złożoną z sześciu stopni: Miasto Zaopatrzone w Wodę, Miasto Skanalizowane, Miasto Odwodnione, Miasto Dróg Wodnych, Miasto Cyklu Wodnego oraz Miasto Wrażliwe na Wodę (rys. 1).



Rysunek 1. Transformacja w zakresie zarządzania wodą miejską

Źródło: opracowanie własne, za: (Brown, Keath i Wong, 2008)

Ewolucja podejścia do gospodarowania wodą w miastach obrazuje nie tylko zmieniające się potrzeby społeczne i technologiczne, ale także rosnącą świadomość ekologiczną. Współczesne miasta coraz częściej traktują wodę nie tylko jako zasób użytkowy, ale również jako istotny element środowiska miejskiego, wpływający na jakość życia mieszkańców, bioróżnorodność oraz odporność miast na zmiany klimatyczne. Tym samym zarządzanie wodą staje się integralną częścią strategii planowania przestrzennego, polityki środowiskowej i działań na rzecz adaptacji do globalnych wyzwań.

Woda a zmiany klimatu i adaptacja miast

Wpływ zmian klimatu na gospodarkę wodną miast

Z powodu zmian klimatu w różnych regionach świata nasilają się ekstremalne zjawiska pogodowe. Według najnowszego sprawozdania Europejskiej Agencji Środowiska (EEA) dotyczącego zmieniających się zagrożeń klimatycznych (Raport EEA, 2023), w naszej części Europy prawdopodobnie wzrośnie roczna suma opadów i nasili się występowanie intensywnych opadów. Cierpią nie tylko rolnicy z powodu suszy, która niszczy plony. Problemem jest również nadmiar wody. Dotyczy on przede wszystkim dużych miast i aglomeracji. Podstawą planistyczną powstawania miast była bliskość rzek oraz zbiorników wodnych, co umożliwiało zrównoważone gospodarowanie wodą. Dzisiejsze miasta charakteryzuje gęsta zabudowa, drogi, utwardzone place oraz parkingi, czyli duży udział powierzchni nieprzepuszczalnych i jednocześnie niewielki udział powierzchni zielonych. W Polsce większość miast charakteryzuje się znacznym uszczelnieniem powierzchni. Jest to najważniejszy (choć często pomijany) skutek „urbanistycznego” podejścia do zarządzania wodą w mieście, którego efektem jest przyspieszenie odpływu wody. Skutkuje to wzrostem prędkości i wielkości spływu powierzchniowego, powodując podtopienia i powodzie (w tym błyskawiczne) oraz przepływy ekstremalne w rzekach. Zmniejszona retencja wody i wydłużające się okresy suszy uniemożliwiają funkcjonowanie zielonej infrastruktury w miastach. Zmniejszają także przepływy minimalne w rzekach, zagrażając utrzymaniu życia biologicznego. Nadmierne wykorzystanie technologii w krajobrazie i powszechna praktyka odprowadzania wód opadowych do rzek zwiększa koszty zarządzania zasobami wodnymi i zmniejsza zasilanie wód podziemnych (Wagner i Zalewski, 2009). Wzrasta zanieczyszczenie powietrza i powstają miejskie wyspy ciepła, co ma negatywny wpływ na ludzkie zdrowie. Procesy te doprowadzają do utraty funkcji i usług ekosystemów oraz zmniejszają odporność na zmiany klimatyczne.

Przyspieszenie i nasilenie spływu powierzchniowego w zlewniach miejskich skutkuje zwiększonym eksportem zanieczyszczeń. Dostają się one do rzek bezpośrednio poprzez zwiększony spływ powierzchniowy, jak i pośrednio, poprzez: odpływy z kanalizacji deszczowej – odbierającej wody

z obszarów często znacznie większych niż zasięg naturalnej zlewni i pojemność cieków, odpływy z przelewów burzowych kanalizacji ogólnospławnej – dodatkowo zanieczyszczające cieki wodne ściekami komunalnymi, oraz nielegalne punktowe zrzuty zanieczyszczeń. Pogorszenie jakości wody uniemożliwia bezpieczne korzystanie ze środowiska przez społeczeństwo i zachowanie bioróżnorodności.

Negatywny wpływ suszy hydrologicznej i zanieczyszczeń jest potęgowany przez powszechne w miastach interwencje w fizyczną strukturę ekosystemów dolin i koryt rzecznych. Zmieniany lub zwężany jest także przekrój poprzeczny rzeki, pozbawia się rzekę łączności z doliną i terenami podmokłymi itp. Równie szkodliwe jest dopuszczenie do zabudowy dolin i terenów zalewowych w celach mieszkaniowych, przemysłowych lub komunikacyjnych. Ma to swoje konsekwencje w czasie wezbrań oraz powodzi.

Adaptacyjne rozwiązania hydrotechniczne

Na całym świecie podejmowane są próby łagodzenia skutków gwałtownych opadów przy użyciu odpowiednich rozwiązań urbanistycznych i architektonicznych. Złożone problemy związane ze zmianami klimatu należy rozwiązywać stosując holistyczne podejście w inżynierii wodnej, które uwzględnia zarówno aspekty ekologiczne, jak i społeczne. Należy uzupełnić istniejące systemy i zapewnić ich współpracę z rozwiązaniami zrównoważonymi, wchodzącymi w skład tzw. *zielono-niebieskiej infrastruktury*. Coraz częściej miasta próbują poradzić sobie z tymi problemami, sadząc drzewa i krzewy, rezygnując z koszenia trawników czy zakładając kwietne łąki, a nawet ogrody na dachach. Dalszym krokiem powinno być zbieranie wody deszczowej z dachów domów i centrów handlowych, parkingów i dróg. Z uwagi na bezpieczeństwo i niezawodność pracy tych systemów najważniejszym aspektem jest retencja (Sosnowska i Falaciński, 2025) połączona z nowoczesnymi metodami zarządzania wodą, co skutkuje wydłużeniem czasu odpływu powierzchniowego i ograniczeniem jego wielkości.

Do takich rozwiązań hydrotechnicznych na terenach miejskich należą: zbiorniki retencyjne i poldery, inteligentne systemy monitoringu i zarządzania wodą oraz koncepcja *miasta-gąbki*.

Zbiorniki retencyjne oraz poldery służą do bezpiecznego przejścia nadmiaru wody podczas przejścia fali wezbraniowej, a następnie są odwadniane samoczynnie lub w sposób kontrolowany. Obiekty te stanowią elementy ochrony przeciwpowodziowej czynnej. Chronią miasta przed wodami powodziowymi, obniżając wysokość fali wezbraniowej (fot. 2).



Fotografia 2. Zbiornik Racibórz Dolny, powódź 2024

Źródło: (Czas na Opole, 2024)

Główną rolą zbiorników retencyjnych jest gromadzenie wody w momencie wezbrania (powodzi) i wykorzystanie w okresie niedoborów. Budowanie zbiorników retencyjnych ma na celu zwiększenie zapasów wody, dzięki którym możliwe jest przeciwdziałanie zarówno powodziom, jak i suszom. Aktualnie w Polsce retencjonujemy tylko 6,5% średniego rocznego odpływu wody. Potrzeby są co najmniej dwa razy większe, dlatego budowa nowych zbiorników retencyjnych jest doskonałym sposobem na włączenie się w walkę o zrównoważone środowisko. Obecnie każdy właściciel domu jednorodzinnego ma możliwość zwiększenia retencji, jeżeli zdecyduje się na założenie własnego oczka wodnego albo montaż zbiornika na deszczówkę. Jest to tzw. mała retencja. W obszarach miejskich zbiorniki retencyjne lub

suche zbiorniki stanowią ważny element ochrony przed powodzią błyskawicznymi oraz suszą (fot. 3). Mogą być również ciekawym elementem architektury podnoszącym walory estetyczne i zdrowotne miast.



Fotografia 3. Zbiornik retencyjny na Gocławiu w Warszawie – jezioro Balaton

Źródło: (iPraga Południe, 2018)

Optymalizacja wykorzystania retencji zbiornikowej i możliwość sterowania nią to obecnie podstawa każdego systemu zarządzania wodami opadowymi. Ważnym aspektem tego rozwiązania jest ograniczenie kosztów związanych z opłatami za retencję utraconą oraz zatrzymanie wody w miejscu pojawienia się (opadu). Systemy inteligentnego zarządzania wodami opadowymi w mieście nie tylko podczyszczają, retencjonują, ale również pozwalają na wykorzystanie zmagazynowanej wody w zależności od potrzeb, np. do nawadniania terenów zielonych, mycia ulic, zasilania miejskich toalet czy fontann. Sterowanie zrzutem ma charakter inteligentny w rozumieniu zastosowania algorytmów sztucznej inteligencji i uwzględnia takie czynniki, jak dostępność rozporządzalnej zdolności tranzytowej kanalizacji deszczowej oraz maksymalizację czasu przetrzymywania zretencjonowanej wody w celu jej wykorzystania. Poza tym system na bieżąco analizuje parametry i informuje o nieprawidłowościach w przebiegu procesu oraz w pracy urzą-

dzień systemu. Wykorzystuje pozyskane dane oraz zarządza ich przepływem, a także je archiwizuje, aby zapewnić wczesne ostrzeżenie przed przepełnieniem zbiorników retencyjnych (rys. 2).



Rysunek 2. System Bumerang SMART

Źródło: (Ecol-Unicon, 2025)

Coraz większym zainteresowaniem cieszy się idea *miast-gąbek*. Prekursorem tej idei są Chiny. Po serii powodzi w 2012 roku powstał projekt o nazwie *Sponge Cities* – nawiązanie do słów prezydenta, iż *miasta muszą być jak gąbka*. Szkic działań został zaproponowany przez chińskiego badacza, profesora Kongjiana Yu w 2013 roku.

Miasta-gąbki to innowacyjna koncepcja urbanistyczna, która zakłada, że miasta powinny być projektowane tak, aby w jak największym stopniu przypominały naturalne ekosystemy. Powinny być w stanie pochłaniać i zatrzymywać wodę w czasie deszczów, a następnie uwalniać ją w trakcie okresów suszy. *Miasta-gąbki* mają na celu stworzenie zrównoważonych, ekologicznych i przyjaznych dla mieszkańców przestrzeni miejskich.

Idea *miasta-gąbki* opiera się na zasadzie działania tradycyjnej gąbki, czyli na pochłanianiu wody i innych substancji z powierzchni, magazynowaniu, a następnie zwracaniu ich do środowiska w postaci czystszej wody i powietrza.

Działanie *miast-gąbek* opiera się na kilku głównych założeniach, które obejmują:

- zwiększenie powierzchni zieleni: projektanci starają się zwiększyć ilość terenów zielonych, takich jak parki, ogrody, place zabaw i tereny rekreacyjne, które działają jak naturalne magazyny wody. Rośliny pomagają w absorbowaniu wody deszczowej, co przeciwdziała powodziom i erozji gleby. Ponadto zieleń pochłania zanieczyszczenia i emituje tlen, co poprawia jakość powietrza w mieście,
- przepuszczalność terenu: zamiast asfaltu i betonu stosuje się materiały przepuszczalne, aby woda mogła swobodnie przepływać do gruntu. Zastosowanie takich rozwiązań pozwala na redukcję ryzyka powodzi,
- tworzenie systemów retencji wody: koncepcja zakłada budowę systemów retencji, które mogą obejmować specjalne ogrody deszczowe, baseny retencyjne czy też studnie. Dzięki temu woda opadowa jest zatrzymywana i stopniowo uwalniana z powrotem do ziemi, co pozwala na uniknięcie erozji gleby i na utrzymanie odpowiedniego poziomu jej wilgotności.

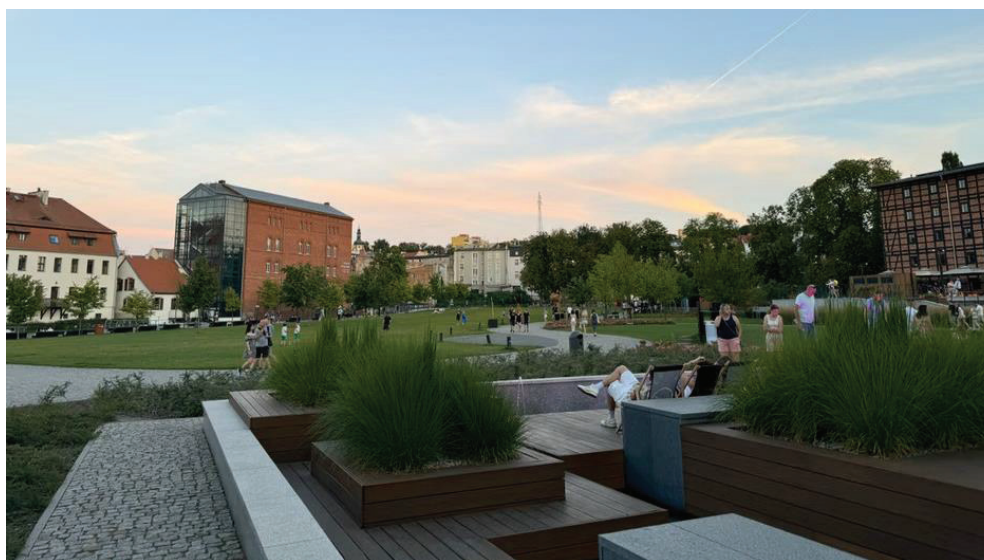
Koncepcja ta stosowana jest w różnych częściach świata. W Chinach *miasta-gąbki* budowane są w celu poprawy jakości wody i ochrony przed powodzią; w Indiach, aby poprawić jakość powietrza w zatłoczonych miastach; w Europie, aby podnieść jakość życia mieszkańców i walczyć z negatywnymi skutkami zmiany klimatu.

Przykładami rozwiązań błękitno-zielonej infrastruktury (BZI) mogą być:

- zielone dachy (ekstensywne i intensywne),
- dachy żwirowe,
- zielone ściany,
- ogrody deszczowe,
- stawy (zbiorniki) retencyjne,
- rowy infiltracyjne,
- muldy retencyjne,
- chodniki z materiałów przepuszczalnych.

Koncepcja *miasta-gąbki* znalazła zwolenników również w Polsce. Jednym z miast, które z powodzeniem wdraża tę ideę jest Bydgoszcz. Mowa tu

przede wszystkim o największej w historii przebudowie miejskiej kanalizacji czy budowie nowych kanałów i zbiorników zagospodarowujących wodę opadową (do 30 tys. m³ rocznie); inwestycja warta 260 mln zł. Bydgoszcz stawia na tworzenie zielono-niebieskiej infrastruktury – odpowiednio zaprojektowane parki, sadzenie roślinności buforowej, która powoduje zwiększenie powierzchni wsiąkania wody, stosowanie nawierzchni przepuszczalnych na większych powierzchniach, tworzenie ogrodów deszczowych itp. (fot. 4). Należy zaznaczyć istotną rolę lokalnej społeczności w osiągnięciu wspólnego celu. Przykładami działań realizowanych przez mieszkańców są: zakładanie ogrodów deszczowych, magazynowanie oraz wtórne wykorzystywanie wód opadowych, np. do podlewania trawników, czy powiększanie terenów łąk kwietnych, a także zgłaszanie związanych z tym projektów do budżetu obywatelskiego.



Fotografia 4. Bydgoszcz – *miasto-gąbka*

Źródło: (www.zielony.onet.pl, 2024)

Spongecity jest koncepcją, która powstała jako bezpośrednia reakcja na klęski spowodowane głównie działalnością człowieka. Zmiany klimatyczne stają się powszechne, a powodzie czy susze coraz częstsze. Oczywiście wykorzystanie powyższych rozwiązań wiąże się z oszacowaniem ich efek-

tywności, także w ujęciu ekonomicznym – czy lepiej jest naprawiać szkody czy może im zapobiegać? W tabeli 2 przedstawiono, na podstawie danych literaturowych, analizę efektywności różnych obiektów błękitno-zielonej infrastruktury (BZI) stosowanych obecnie w miastach.

Tabela 2. Zestawienie wskaźników efektywności BZI

Źródło: (Kaliszewska, 2025)

Lp.	BZI	Efektywność wodna	Koszty inwestycyjne [zł/m ²]	Koszty eksploatacyjne [zł/ m ² /rok]	Trudność w eksploatacji
1	Zielone dachy ekstensywne	- retencja: do 25 l/m², - redukcja spływu pow.: 2–100%, - opóźnienie odpływu: 2,5 h	215–970	2–13	umiarkowana
2	Zielone dachy intensywne	- retencja: do 160 l/m², - redukcja spływu pow.: 2–100%, - opóźnienie odpływu: 2,5 h	od 650	15–65	umiarkowana
3	Dachy żwirowe	retencja: do 80 l/m²	200–300	b.d.	niska
4	Zielone ściany	- retencja: do 4–8 l/m² na dobę, - redukcja spływu pow.: 4–87%	14 720 (5 lat)		niska
5	Ogrody deszczowe	- retencja: do 150 – 250 l/m², - redukcja spływu pow.: 77–94%	300–650	1,4	niska
6	Powierzchniowy zbiornik retencyjny	retencja: 1000–3000 l/m²	800–1700	4,6–23	wysoka
7	Rowy infiltracyjne	retencja: 450–700 l/m²	450–700	1,15–18,40	niska
8	Mulda retencyjna	retencja: do 450 l/m²	500–1100	b.d.	niska
9	Przepuszczalna kostka brukowa	- współczynnik infiltracji: 0,23–3,3 mm/min, - redukcja spływu pow.: 1–40%	50–300	0,25–1	niska
10	Powierzchnie ażurowe	- współczynnik infiltracji: 0,8–1,4 mm/min, - redukcja spływu pow.: 1–40%	170–250	0,25–1	niska
11	Beton przepuszczalny	- współczynnik infiltracji: 80–720 l/m² na min, - redukcja spływu pow.: 1–40%	200–450	0,25–1	niska
12	Asfalt przepuszczalny	- współczynnik infiltracji: 39–118 mm/min, - redukcja spływu pow.: 1–40%	200–450	0,25–1	niska

Uwagi do tabeli 2:

- b.d. – brak danych,
- najlepszą efektywność oczyszczania wód opadowych uzyskuje się w systemach z roślinnością,
- zwiększenie obszarów zielonych na terenach zurbanizowanych wpływa na dobre samopoczucie mieszkańców, poprawę jakości powietrza oraz redukuje występowanie zjawiska miejskich wysp ciepła.

Miasta-gąbki nie zapobiegą klęskom, ale na pewno pomogą ograniczyć ich negatywne następstwa. Należy uczyć się na błędach i dostrzec, iż wykluczenie nadmiernie zabetonowanej przestrzeni miejskiej nie będzie przynosiło strat. Należy szerzej rozpowszechniać te koncepcje i liczyć, że osoby decyzyjne zaczną częściej je wdrażać w trosce o wspólne dobro i bezpieczeństwo mieszkańców.

Woda jako element krajobrazu miejskiego

Na terenach zurbanizowanych, wielkomiejskich, spotykamy się z najbardziej przekształconymi lub w całości wytworzonymi przez człowieka obszarami. W części dużych miast, które rozwijały się na brzegach rozległych rzek lub jezior, w ciągu setek lat ich funkcjonowania, wody wpisywały się w ich przestrzeń, tworząc z nią jednolitą całość, stając się symbolem i ważną wizytówką. W wielu ośrodkach wprowadzono „uporządkowane” krajobrazy poprzez zagospodarowanie brzegów rzek i jezior i przystosowanie ich do potrzeb mieszkańców. Zostały wykonane strefy rekreacyjne, turystyczne i reprezentacyjne. Z drugiej strony w części miast, szczególnie tych, w których dynamicznie zaczął rozwijać się przemysł, ciekі wodne zaczęły stanowić przeszkodę dla intensywnego rozwoju przestrzennego. W efekcie zmieniono ich przebieg, skanalizowano je albo całkowicie zabudowano. W tego typu przypadkach ograniczono znaczenie wody dla krajobrazu do absolutnego minimum.

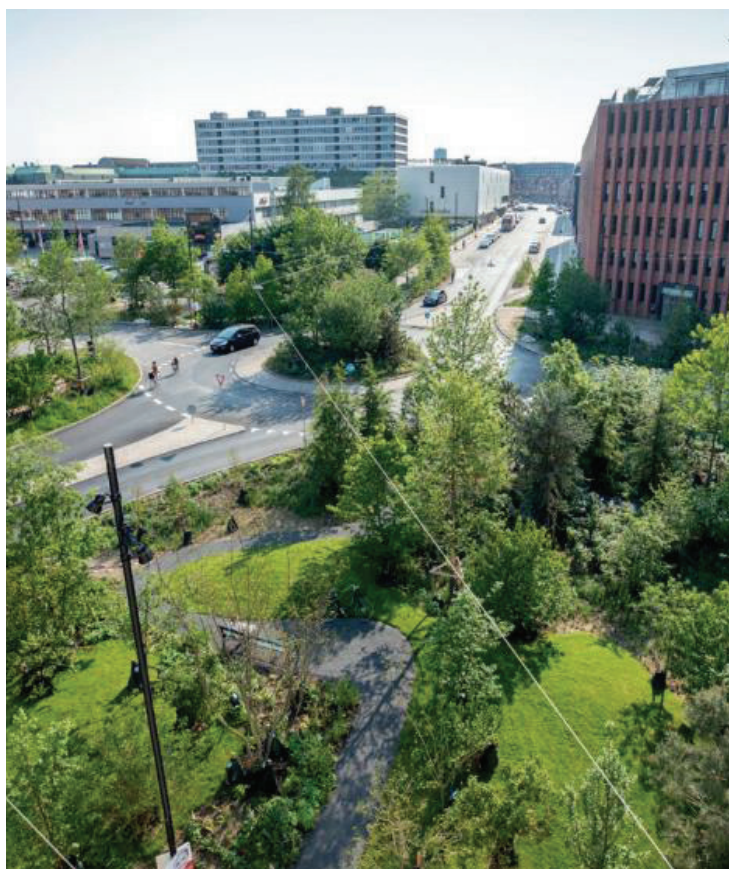
Woda w krajobrazie miejskim występuje nie tylko w formie wód powierzchniowych, ale również wód podziemnych, które mają największy wpływ na utrzymanie roślinności i tworzenie mikroklimatu miasta.

Zmiany krajobrazu miejskiego w kontekście postępującej urbanizacji mogą mieć katastrofalne skutki w momencie wystąpienia opadów nawalnych. Przykładem miasta, w którym nadmiar wody opadowej powodował

w przeszłości problemy, jest Kopenhaga. W tym przypadku także opady nawalne spowodowały powódź błyskawiczną. Cztery okresy intensywnych opadów deszczu w ostatnich latach spowodowały w Kopenhadze spustoszenie. Największe opady wystąpiły w 2011 roku, kiedy to szkody sięgnęły 800 mln euro.

W 2012 roku przyjęto plan zarządzania intensywnymi opadami dla Kopenhagi, w którym oceniono koszty różnych działań. Dalsze inwestycje, jedynie w sieć kanalizacyjną, nie rozwiązałyby tych problemów, ponieważ wymagane inwestycje byłyby bardzo kosztowne, a miasto nadal byłoby zalewane. Zgodnie z tym planem, najlepszym rozwiązaniem byłoby połączenie tradycyjnej *szarej infrastruktury* i rozwiązań opartych na środowisku naturalnym (Europejska Agencja Środowiska, 2023). Oprócz rozbudowy sieci kanalizacyjnej w Kopenhadze realizowanych jest około 300 projektów na rzecz poprawy retencji wody i odwadniania, które mają zostać ukończone do 2033 roku. Projekty te obejmują zapewnienie większej liczby terenów zielonych (fot. 5), ponowne otwarcie kanałów, budowę nowych kanałów i tworzenie jezior.

Infrastruktura błękitno-zielona musi dodatkowo być przygotowana na podczyszczanie wód spływających z dróg, parkingów, stacji obsługi samochodów. Najczęściej wykorzystuje się w takich sytuacjach oczyszczanie hydrofitowe, które może być wspomagane dodatkowymi urządzeniami podczyszczającymi w postaci separatorów i osadników. Coraz większą popularność zdobywa również sekwencyjny system sedymentacyjno-biofiltracyjny (fot. 6), który jest odmianą oczyszczalni hydrofitowej, wykorzystującej regulację ekohydrologiczną. Stosuje się go na bezpośrednim dopływie wód opadowych do odbiornika lub na samym cieku. Składa się z trzech stref: intensywnej sedymentacji (w której kombinacja stałych i przenośnych konstrukcji modyfikuje hydrodynamikę komory i zwiększa sedymentację), intensywnych procesów biogeochemicznych (gdzie grube frakcje wapienia wychwytyują związki fosforu) oraz biofiltracyjnej (służącej usuwaniu związków biogennych z wykorzystaniem makrofitów). Strefy są oddzielone od siebie gabionami z grubego żwiru, które dodatkowo filtrują wodę. Takie rozwiązania zostały zastosowane w ramach odbudowy rzeki Sokołówka w Łodzi. Prace wykonano w ramach projektu ze środków UE: SWITCH (Projekt SWITCH, 2014). Pilotażowa koncepcja niebiesko-zielonej infrastruktury miała na celu poprawę stanu



Fotografia 5. Infrastruktura BZI w Kopenhadze

Źródło: (Europejska Agencja Środowiska, 2023)

ekosystemów miejskich, zmniejszenie ryzyka powodziowego i poprawę mikroklimatu, przyczyniając się w ten sposób do poprawy jakości życia. Koncepcja BZI pozostaje istotna w planowaniu przestrzennym Łodzi, a liczne korzyści płynące z projektów rekultywacji rzek wzbudziły zainteresowanie i działania na rzecz dostosowania stosowanych technologii do nowych lokalizacji i zagospodarowania terenów zielonych w połączeniu z elementami wodnymi obecnymi w mieście.

Przykład z Łodzi pokazuje kierunek działań renaturyzacyjnych w Polsce, który został wyznaczony przez Krajowy Program Renaturyzacji Wód Powierzchniowych (KPRWP) – (PGW WP, 2020). Wskazuje on rzeki i inne zbiorniki wodne, które powinny zostać zrenaturyzowane, aby zrealizować



Fotografia 6. System sedymentacji sekwencyjnej biofiltracji wody opadowej

Źródło: (Europejska Agencja Środowiska, 2023)

cel Ramowej Dyrektywy Wodnej, czyli osiągnięcie dobrego stanu wód do 2027 roku. Zgodnie z KPRWP, interwencji wymaga około 90% wód powierzchniowych.

Ciekawy przykład nowoczesnego projektu sprzyjającego zagospodarowaniu wody w mieście stanowią rozwiązania wykorzystane w Radomiu (Fundacja Sendzimira, 2022). W 2022 roku zostały zakończone inwestycje obejmujące m.in.:

- remont Zalewu Borki na rzece Mlecznej wraz ze stawami kolmatacyjnymi, które obecnie zapewniają bardzo duży stopień oczyszczania wód. W stawach wykonano przepławki dla ryb, mnichy. Istnieje możliwość zmniejszenia nadmiaru wody zrzucanej do kanalizacji miejskiej w sytuacji przepełnienia oraz przekierowywanie jej między stawami (np. na potrzeby robót konserwacyjnych). Pozwoleniem wodnoprawnym została

zmieniona wysokość piętrzenia, aby zapewnić 20-centymetrową warstwę retencyjną. Zalew jest jedynym zbiornikiem w mieście wykorzystywanym do celów rekreacyjnych,

- budowę polderów zalewowych na rzece Cerekwiance (fot. 7). Polder służy redukcji zagrożenia powodziowego. Latem rzeka niemal jest pozbawiona wody, a w czasie opadów występuje z brzegów, zalewając infrastrukturę drogową. Obecnie nadmiar wody kierowany jest na poldery zalewowe,



Fotografia 7. Polder zalewowy na Cerekwiance

Źródło: (www.life.radom.pl, 2021)

- renaturyzację rzeki Mlecznej. W celu spowolnienia odpływu wód rzeka została spiętrzona jazem, a wody są kierowane na dwa stawy kolmatacyjne. W stawach zbudowano osadnik, wybudowano przegrody z gabionów i półwyspy z kamieni dolomitowych, gdzie następuje oczyszczanie, oraz progi przelewowe, które pełnią również funkcję przepławek dla ryb.

Zabezpieczenia przed lokalnym podtopieniem

Gwałtowne burze oraz intensywne opady mogą spowodować lokalne podtopienia, które stanowią zagrożenie dla ludności oraz powodują ogromne straty finansowe. W sytuacji, kiedy w strukturze miasta nie można wykonać skutecznego odbiornika wód opadowych, należy chronić obiekty budowlane przed zalaniem. Szczególnie narażone na niebezpieczeństwo zalania są budynki umiejscowione na nisko położonych terenach oraz sąsiadujące ze zbiornikami wodnymi.

Lokalna powódź wcale nie oznacza, że budynek zostanie zalany aż do wyższej kondygnacji. Równie groźne są podtopienia, gdyż oprócz zniszczenia mienia, mogą także powodować ryzyko zwarcia instalacji elektrycznej. Należy więc wcześniej zadbać o dobre zabezpieczenie domów przed powodzią, aby uniknąć strat finansowych oraz zapewnić sobie bezpieczeństwo. Na ochronę przeciwpowodziową powinni zdecydować się nie tylko właściciele nieruchomości położonych na terenach szczególnie zagrożonych. Intensywne opady mogą spowodować problemy z odpływem wody do kanalizacji, dlatego na zalanie narażone są również obiekty zlokalizowane w mieście, na stabilnym, lecz nieprzepuszczającym wód opadowych terenie.

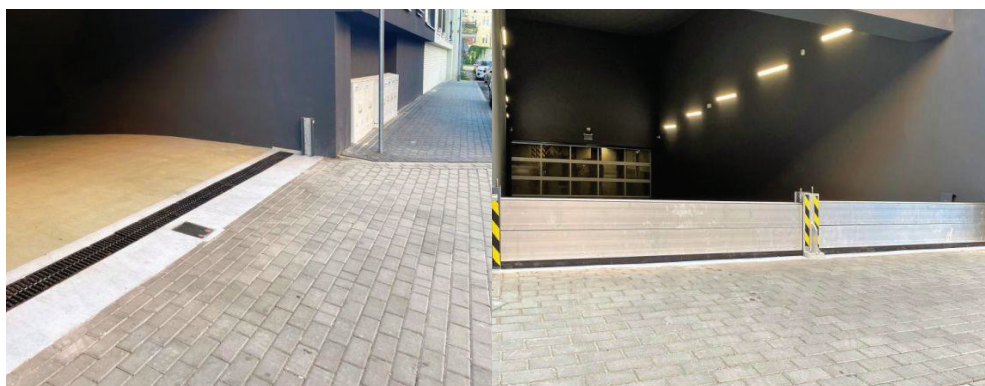
Zabezpieczenie przeciwpowodziowe nie musi oznaczać konieczności przebudowy całego budynku. Obecnie istnieją proste, a jednocześnie skuteczne sposoby, na które nie trzeba przeznaczać dużych środków finansowych. Do takich rozwiązań można zaliczyć następujące metody:

- podwyższenie wejścia – najprostszym sposobem jest dobudowanie stopnia w obrębie drzwi wejściowych, aby uniemożliwić przedostanie się wody do środka, dodatkowo można także zamontować wyższy krawężnik wokół posesji,
- udrażnianie kanalizacji – w większości budynków występuje kanalizacja grawitacyjna co oznacza, że podczas powodzi nieczystości cofną się do mieszkania. Należy więc dbać o drożność przepływu, ale także zamontować zawór zwrotny (kłapę zwrotną),
- montaż bariery przeciwpowodziowej – w ostateczności można wykorzystać worki z piaskiem, choć jest to rozwiązanie czasochłonne i krótkotrwałe. Obecnie dużo lepszym rozwiązaniem jest zainstalowanie specjalnej zapory modułowej, która składa się z paneli montowanych w obrębie drzwi i okien.

Z punktu widzenia zabezpieczenia przed nagłym podtopieniem lokalnym budynku najskuteczniejszym, a zarazem najprostszym zabezpieczeniem jest zainstalowanie mobilnych systemów ochrony. System taki ogranicza się jedynie do przymocowania specjalnych prowadnic w obrębie drzwi. W razie wystąpienia ryzyka zalania wystarczy umieścić w nich panele, które zapobiegają przedostaniu się wody do wnętrza budynku. Taka konstrukcja nie wpływa niekorzystnie na estetykę architektury zewnętrznej oraz nie utrudnia korzystania z wejścia do domu. Stanowi jednak skuteczną i tanią ochronę

domu przed podtopieniem i zapobiega stratom finansowym. Mobilne systemy ochrony przed zalaniem są również nowoczesnym rozwiązaniem zabezpieczenia garaży (w tym podziemnych), nie wpływając na ich użytkowanie, a jednocześnie gwarantując wysoki poziom zabezpieczenia przed napływającą do wewnątrz wodą – zarówno w trakcie powodzi, jak i niewielkiego lokalnego podtopienia.

Na fotografiach 8–10 przedstawiono przykłady zabezpieczenia obiektów budowlanych za pomocą mobilnych barier przeciwpowodziowych.



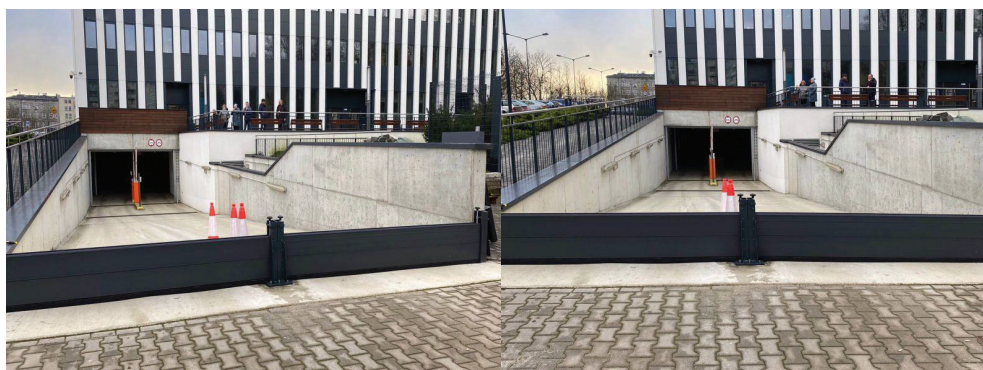
Fotografia 8. Mobilna bariera przeciwpowodziowa w apartamentowcu River Side w Kaliszu, rozpiętość 580 cm, wysokość 40 cm

Źródło: (<https://www.pietrucha.pl/pl/realizacje>)



Fotografia 9. Mobilna bariera przeciwpowodziowa w budynku ZUS w Pile, wysokość 60 cm

Źródło: (<https://www.pietrucha.pl/pl/realizacje>)



Fotografia 10. Mobilna bariera przeciwpowodziowa w budynku Urzędu Skarbowego w Poznaniu, wysokość 40 cm

Źródło: (<https://www.pietrucha.pl/pl/realizacje>)

Podsumowanie

Współczesne miasta stoją w obliczu dwóch głównych rodzajów kryzysów wodnych: naprzemiennych susz oraz powodzi – o zróżnicowanych skali i charakterze. Coraz częściej będziemy obserwować długie okresy bez opadów, połączone z ekstremalnie wysokimi temperaturami powyżej 33°C. W takich warunkach kluczowe stają się pytania: Jak silny będzie kryzys? Na ile jesteśmy na niego przygotowani?

Poprzedni rok 2024 to rok rekordowy, w którym Polska doświadczyła dotkliwego kryzysu wodnego – rekordowo niskiego poziomu Wisły, a niedługo potem katastrofalnej powodzi. Szczególnie dotkliwe skutki ekstremalnych zjawisk pogodowych odczuła Ziemia Kłodzka. Te wydarzenia pokazują, że potrzebujemy zdecydowanego, systemowego i zintegrowanego podejścia do zarządzania kryzysami wodnymi. Niezbędne są dobrze zaplanowane działania administracji publicznej na poziomie krajowym oraz długofalowe rozwiązania infrastrukturalne i edukacyjne wdrażane lokalnie.

W obliczu narastających wyzwań związanych ze zmianami klimatu i kryzysami wodnymi efektywne zarządzanie wodą staje się kluczowym warunkiem przetrwania i rozwoju miast. Zasoby słodkiej wody są ograniczone, a ich nieodpowiednie użytkowanie prowadzi do degradacji środowiska

i pogorszenia jakości życia. Tylko poprzez świadome i konsekwentne działania – zgodne z ideą zrównoważonego rozwoju oraz gospodarki obiegu zamkniętego – miasta mogą złagodzić skutki zmian klimatycznych i przetrwać dla przyszłych pokoleń.

W Polsce brak jest szczegółowych wytycznych, ram prawnych i narzędzi ekonomicznych wspierających zintegrowane i proekologiczne podejście do zarządzania wodą w przestrzeni miejskiej. Coraz częściej jednak architektki i urbaniści, świadomi negatywnych skutków urbanizacji dla środowiska naturalnego i dobrostanu mieszkańców, uwzględniają w trakcie kreowania struktury miejskiej aspekt zrównoważonego gospodarowania zasobami wodnymi.

Miasta, w których zrozumiano wagę współczesnych wyzwań wodnych, zyskają nie tylko odporność na kryzysy, ale także mogą stać się wzorem do naśladowania w obszarze zrównoważonego rozwoju.

Literatura

- Absalon, D. i Matysik, M. (2016). *Zmiany odpływu w silnie zurbanizowanych zlewniach województwa śląskiego*. W: L. Hejduk i E. Kaznowska, *Hydrologia zlewni zurbanizowanych*. Warszawa: Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk.
- Bednarz, M. (2018). *Rewitalizacja bulwarów Wiślanych – próba stworzenia nowej przestrzeni publicznej w mieście*. Środowisko Mieszkaniowe, 24, s. 4–12. doi: 10.4467/25438700SM.18.052.9642
- Bolognesi, T., Pinto, F. i Farrelly, M. (2023). *Urban water governance: Approaching a pressing environmental and social challenge*. W: The Routledge Handbook of Urban Water Governance (s. 1–14). Abingdon Oxon UK: Routledge.
- Brown, R., Keath, N. i Wong, T. (2008). *Transitioning to Water Sensitive Cities: Historical, Current and Future Transition States*. 11th international conference on urban drainage, 10. Edinburgh: IWA Publishing.
- Czas na Opole. (2024.10.06). Pobrano 06.23.2025 z lokalizacji <https://czasnaopole.pl/zbiornik-raciborz-dolny-cichy-bohater-opola/>
- Ecol-Unicon (2025.06.23). Pobrano 06.23.2025 z lokalizacji <https://ecol-unicon.com/blog/inteligentne-zarzadzanie-wodami-opadowymi-w-miescie/>
- EFE (2024.11.05). [www.efe.com](https://efe.com/economia/2024-11-05/gobierno-y-generalitat-estiman-en-2-600-millones-el-coste-de-restaurar-infraestructuras/). Pobrano z lokalizacji <https://efe.com/economia/2024-11-05/gobierno-y-generalitat-estiman-en-2-600-millones-el-coste-de-restaurar-infraestructuras/>

- Europejska Agencja Środowiska (2023). *Częstotliwość i dotkliwość zagrożeń klimatycznych*. Pobrano z lokalizacji <https://www.eea.europa.eu/pl/highlights/czestotliwosc-i-dotkliwosc-zagrozen-klimatycznych>
- Fundacja Sendzimira (2022). *Zarządzanie miejskimi dolinami rzecznyymi*. Warszawa.
- Goldstein, P. (2020). *Smart Water Technology: How IoT Helps Cities Save Money and Conserve Water*. doi: https://statetechmagazine.com/article/2020/07/smart-water-technology-how-iot-helps-cities-save-money-and-conserve-water-perfcon?utm_source=chatgpt.com
- Grabińska, B., Koc, J. i Glińska-Lewczuk, K. (2005). *Wpływ użytkowania zlewni na zanieczyszczenie wód rzecznych na przykładzie Narwi i jej dopływów*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 503, s. 101–110.
- iPraga Południe (2018.05.11). Pobrano 06.23.2025 z lokalizacji <https://ipragapoludnie.pl/artikul/goclaw-osiedle-tylko-n441278>
- Januchta-Szostak, A. (2008). *Błękitna krew miasta. Woda jako ożywcza siła przestrzeni publicznych*. Czasopismo Techniczne, z. 3-A.
- Kabziński, A. (2002). *Problemy wtórnego zanieczyszczenia wód wodociągowych w procesie ich uzdatniania i przesyłu*. Gospodarka Wodna, 6, s. 244–249.
- Kapler, A. (2022). *Proekologiczne działania Wód Polskich w miastach*. Mazowsze Studia Regionalne, s. 29–52. doi: 10.21858/msr.43.02
- Klimowicz, J. (2018). *Wybrane przykłady zastosowania zieleni i wody jako naturalnych elementów przestrzeni poprawiających warunki lokalnych klimatów*. Środowisko Mieszkaniowe (24), s. 26–33. doi: 10.4467/25438700SM.18.054.9644
- Kudłacz, M., Węgrzyn, B. i Kutek, K. (2022). *Miejska gospodarka wodna w kontekście współczesnych wyzwań globalnych i lokalnych. Przykład Krakowa i Wrocławia w kontekście wyników rankingu Water City index*. Studia Ekonomiczne. Gospodarka • Społeczeństwo • Środowisko (2), s. 199–214.
- Kundzewicz, Z., Hov, O. i Okruszko, T. (2017). *Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce*. Poznań.
- Kwietniewski, M. (2011). *Awaryjność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce w świetle badań eksploatacyjnych*. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna. Awarie budowlane. Międzyzdroje.
- Lwasa, S., Seto, K., Bai, X., Blanco, H., Gurney, K., Kilgis, S., Yamagaata, Y. (2022). *Urban systems and other settlements*. In IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge and New York: Cambridge University Press. doi: 10.1017/9781009157926.010
- Macklin, M. i Lewin, J. (2015). *The rivers of civilization*. Quaternary Science Reviews (114), s. 228–244. doi: 10.1016/j.quascirev.2015.02.004

- Monachese, A.P., Gomez-Villarino, M., Lopez-Santiago, J., Sanz, E., Almeida-Naunay, A. i Zubelzu, S. (2025). *Challenges and Innovations in Urban Drainage Systems: Sustainable Drainage Systems Focus*. Water, 17(1). doi: 10.3390/w17010076
- National Geographic (2024.11.04). [www.national-geographic.pl](https://www.national-geographic.pl/traveler/kierunki/walencja-pod-woda-to-jeden-z-najwiekszych-kataklizmow-w-historii-hispanii/). Pobrano z lokalizacji <https://www.national-geographic.pl/traveler/kierunki/walencja-pod-woda-to-jeden-z-najwiekszych-kataklizmow-w-historii-hispanii/>
- Novotny, V. (2008). *Sustainable Urban Water Management*. W: J. Feyen, K. Shannon i M. Neville, *Water and Urban Development Paradigms. Towards an Integration of Engineering, Design and Management Approaches*. Leiden: CRC Press/Balkema. doi: 10.1201/9780203884102.pt1
- nowin.pl (2025.05.04). [www.nowin.pl](https://www.nowin.pl/pl/2025/05/04/silna-burza-z-gradem-sparalizowala-paryz-woda-zalala-ulice-i-metro-maj-2025/). Pobrano z lokalizacji <https://www.nowin.pl/pl/2025/05/04/silna-burza-z-gradem-sparalizowala-paryz-woda-zalala-ulice-i-metro-maj-2025/>
- Ociepa, E., Kisiel, A. i Lach, J. (2010). *Problemy wtórnego zanieczyszczenia wód wodociagowych w procesie ich uzdatniania i przesyłu*. Proceedings of ECOpole, 4(2), s. 465–469.
- OECD Studies on Water (2016). *Water Governance in Cities*. Paryż: OECD Publishing. doi: 10.1787/9789264251090-en
- Projekt SWITCH (2014). *Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju*.
- Seruga, W. (2018). *Zieleń i woda we współczesnych założeniach architektoniczno-urbanistycznych*. Środowisko Mieszaniowe, 22, s. 174–249. doi: 10.4467/25438700SM.18.029.8710
- Ślodziak, J. (2014). *Rzeka w lokalizacji i przestrzennym rozwoju miasta*. W: M. Śliwa, *Problemy i wyzwania w zagospodarowaniu przestrzennym terenów nadrzecznych miasta* (s. 47–60). Opole: Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego.
- Uchnast-Nowicka, B. (1981). *Wpływ urbanizacji na stosunki wodne na przykładzie zlewni Brzeźnicy*. Notatki Płockie. Kwartalnik Towarzystwa Naukowego Płockiego.
- United States Environmental Protection Agency (2025.02.24). Pobrano 06.26.2025 z lokalizacji <https://www.epa.gov/waterreuse/summary-singapores-water-reuse-guideline-or-regulation-industry>
- Węclawicz-Gyurkovich, E. (2010). *Woda w mieście jako przestrzeń publiczna*. Czasopismo Techniczne, z. 3-A (6).
- wp.pl (2025.06.26). [www.wiadomosci.wp.pl](https://wiadomosci.wp.pl/poteczna-ulewa-w-paryzu-ulice-zamienily-sie-w-rwace-potoki-7171816337082497v). Pobrano z lokalizacji <https://wiadomosci.wp.pl/poteczna-ulewa-w-paryzu-ulice-zamienily-sie-w-rwace-potoki-7171816337082497v>
- www.life.radom.pl (2021.09.30). Pobrano 06.23.2025 z lokalizacji <https://www.life-radom.pl/pl>

www.zielony.onet.pl (2024.09.19). Pobrano 06.23.2025 z lokalizacji <https://zielony.onet.pl/klimat/w-polsce-powstaje-miasto-gabka-ma-chronic-mieszkancow-przed-powodziami/xy8fkzq>.

Yannopoulos, S., Giannopoulou, I. i Kaiafa-Saropoulou, M. (2019, 11). *Investigation of the Current Situation and Prospects for the Development of Rainwater Harvesting as a Tool to Confront Water Scarcity Worldwide*. Water. doi: 10.3390/w11102168

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska. Kaliszewska, J. (2025). Praca dyplomowa. *Analiza efektywności błękitno-zielonej infrastruktury na terenach zurbanizowanych*.

AUTORZY ROZDZIAŁÓW

Janusz Czerepko – dr hab., prof. instytutu, Instytut Badawczy Leśnictwa
e-mail: J.Czerepko@ibles.waw.pl

Paweł Falaciński – dr hab. inż., prof. uczelni, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska
e-mail: pawel.falacinski@pw.edu.pl

Marek Jerzy Gromiec – dr hab. inż., prof. uczelni, Akademia Techniczno-Artystyczna Nauk Stosowanych w Warszawie
e-mail: mjgromiec@gmail.com

Zbigniew Kledyński – prof. dr hab. inż., Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska
e-mail: zbigniew.kledynski@pw.edu.pl

Piotr Kowalczak – dr hab. inż., emerytowany profesor Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego

Jerzy Kozyra – dr hab., Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach
e-mail: kozyr@iung.pulawy.pl

Małgorzata Marciniewicz-Mykieta – dr inż., Główny Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie

Jacek Niedźwiecki – dr, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach
e-mail: jacekn@iung.pulawy.pl

Edward Pierzgalski – prof. dr hab. inż., Instytut Badawczy Leśnictwa

e-mail: E.Pierzgalski@ibles.waw.pl

Roman Rolbiecki – prof. dr hab. inż., Politechnika Bydgoska im. J.J. Śniadeckich w Bydgoszczy

e-mail: Roman.Rolbiecki@pbs.edu.pl

Anna Sosnowska – dr inż., Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska

e-mail: anna.sosnowska@pw.edu.pl

Rafał Wawer – dr hab. inż., prof. instytutu, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

e-mail: Rafal.Wawer@iung.pulawy.pl

WYDAWNICTWA
INSTYTUTU PROBLEMÓW WSPÓŁCZESNEJ CYWILIZACJI
IM. MARKA DIETRICHA

Wszystkie publikacje od roku 2019, a także publikacje wcześniejsze zaznaczone znakiem „” są dostępne w wersji elektronicznej pod adresem www.ipwc.pw.edu.pl*

Rok 2025

- XCIII – O wodzie
- XCII – Ethical Aspects of AI
- XCI – Wystąpienia i wykłady inaugurujące rok akademicki 2024/2025
- XC – Ewolucja kultury akademickiej

Rok 2024

- LXXXIX – Edukacja szkolna z perspektywy nauk pedagogicznych
- LXXXVIII – Wystąpienia i wykłady inaugurujące rok akademicki 2023/2024
- LXXXVII – Cywilizacyjna rola lasów

Rok 2023

- LXXXVI – O poznawaniu i kształtowaniu świata
- LXXXV – Nieufność: źródła i konsekwencje
- LXXXIV – Wystąpienia i wykłady inaugurujące rok akademicki 2022/2023
- LXXXIII – Prawdy i półprawdy w żywieniu człowieka
- LXXXII – Prawdy i półprawdy w żywieniu człowieka – książka abstraktów

Rok 2022

- LXXXI – Działalność naukowa – niedoceniany czynnik rozwoju cywilizacyjnego Polski
- LXXX – Podsumowanie dokonań Instytutu 1996–2021
- LXXIX – Ewolucja cywilizacyjnej roli i społecznego odbioru nauki. Część 2
- LXXVIII – Wystąpienia i wykłady inaugurujące rok akademicki 2021/2022

Rok 2021

- LXXVII – Młodzi dorośli: identyfikacje, postawy, aktywizm i problemy życiowe
- LXXVI – Stosunek do szczepliń ochronnych: sceptycyzm wobec nauki

- LXXV – Wystąpienia i wykłady inaugurujące rok akademicki 2020/2021
- LXXIV – Ewolucja cywilizacyjnej roli i społecznego odbioru nauki
- LXXIII – Zmiany klimatu i ich następstwa

Rok 2020

- LXXII – Nauczanie po pandemii. Nowe pytania czy nowe odpowiedzi na stare pytania?
- LXXI – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2019/2020

Rok 2019

- LXX – Szanse i wyzwania dla polskich wydawnictw i czasopism naukowych
- LXIX – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2018/2019

Rok 2017

- LXVIII – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2017/2018
- LXVII – Autonomia uczelni i środowiska akademickiego – odpowiedzialność i etos akademicki*
- LXVI – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2016/2017
- LXV – Student pierwszego roku

Rok 2016

- LXIV – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2015/2016*
- LXIII – Miejsce nauk podstawowych w kształceniu wyższym*

Rok 2015

- LXII – Praktyczne aspekty rekrutacji na studia od roku akademickiego 2015/2016
- LXI – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2014/2015*

Rok 2014

- LX – Perspektywy rozwoju kształcenia zawodowego w Polsce*
- LIX – Badania PISA – przeszłość, teraźniejszość i przyszłość*
- LVIII – Rekrutacja na studia od roku akademickiego 2015/2016 w kontekście zmian w systemie oświaty. Informator dla szkół wyższych*

Rok 2013

- LVII – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2013/2014*
- LVI – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2012/2013*

Rok 2012

- LV – Problemy nauczania chemii w szkołach średnich i wyższych*
- LIV – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2011/2012*

Rok 2011

- LIII – Problemy nauczania biologii w szkołach średnich i wyższych*
- LII – Problemy nauczania fizyki w szkołach średnich i wyższych*
- LI – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2010/2011*
- L – Strategia nauczania matematyki w Polsce – wdrożenie nowej podstawy programowej*

Rok 2010

- XLIX – Natura 2000. Szanse i zagrożenia*
- XLVIII – Współpraca szkół średnich i wyższych*
- XLVII – Podsumowanie dwunastolecia 1996–2008 – Marek Dietrich*
- XLVI – Wykłady inaugurujące rok akademicki 2009/2010*

Rok 2009

- XLV – Społeczeństwo polskie wobec narodzin III Rzeczypospolitej (1988–1990)*
- XLIV – Woda w obszarach nieurbanizowanych*

Rok 2008

- XLIII – Prywatność – prawo czy produkt?*
- XLII – Polscy uczniowie w świetle badań PISA*
- XLI – Warszawa Akademicka*
- XL – Warszawa Akademicka – Seminarium*

Rok 2007

- XXXIX – Czasopisma naukowe – zmierzch czy transformacja?*
- XXXVIII – Obraz postępu i zagrożeń cywilizacyjnych w mediach
- XXXVII – Uczyć myśleć

Rok 2006

- XXXVI – Wizja polskich uczelni w społeczeństwie globalnym
- XXXV – Rola symboli
- XXXIV – Humanizm i technika

Rok 2005

- XXXIII – Zagadnienia bezpieczeństwa wodnego
- XXXII – Polskie uczelnie XXI wieku
- XXXI – Zagadnienia bezpieczeństwa energetycznego
- XXX – Emigracja – zagrożenie czy szansa?

Rok 2004

- XXIX – Decyzje edukacyjne
- XXVIII – Uczelnie a innowacyjność gospodarki
- XXVII – Internet i techniki multimedialne w edukacji

Rok 2003

- XXVI – Kierunki kształcenia i standardy nauczania w polskim szkolnictwie wyższym
- XXV – Zarządzanie bezpieczeństwem w sytuacjach kryzysowych

Rok 2002

- XXIV – Jakość kształcenia i akredytacja w szkolnictwie wyższym w Polsce
- XXIII – Autorytet uczelni
- XXII – Problemy etyczne w nauce
- XXI – Bezpieczeństwo człowieka we współczesnym świecie
- XX – Pamięć i działanie

Rok 2001

- XIX – Ekonomiczne efekty edukacji w Polsce
- XVIII – Wolność a bezpieczeństwo
- XVII – Ekonomiczne i społeczne efekty edukacji

Rok 2000

- XVI – Ekonomiczne i społeczne efekty edukacji
- XV – Czy kryzys demograficzny w Polsce?
- XIV – Produkcja, konsumpcja i technika a ocieplenie klimatu
- XIII – Kształcenie międzyuczelniane. Studium warszawskie

Rok 1999

- XII – Władza i obywatel w społeczeństwie informacyjnym
- XI – Koszty kształcenia w szkołach wyższych w Polsce. Model kalkulacyjnych kosztów kształcenia
- X – Problemy etyczne techniki
- IX – Bezpieczeństwo człowieka we współczesnym świecie

Rok 1998

- VIII – Polska a integracja europejska w edukacji. Aspekty informatyczne
- VII – Misja uczelni
- VI – Bezpieczeństwo człowieka we współczesnym świecie
- V – Instrumenty rozwoju systemu kształcenia w Polsce

Rok 1997

- IV – Akademicka Komisja Akredytacyjna. System oceny jakości kształcenia i akredytacji w szkolnictwie wyższym
- III – Jakość kształcenia w szkołach wyższych
- II – Etyka zawodowa
- I – Ochrona własności intelektualnej

