

ZRÓWNOWAŻONE GOSPODAROWANIE  
ZASOBAMI WODNYMI ORAZ  
INFRASTRUKTURĄ HYDROTECHNICZNĄ  
W ŚWIETLE PROGNOZOWANYCH  
ZMIAN KLIMATYCZNYCH

Pod redakcją  
WOJCIECHA MAJEWSKIEGO  
TOMASZA WALCZYKIEWICZA



# ZRÓWNOWAŻONE GOSPODAROWANIE ZASOBAMI WODNYMI ORAZ INFRASTRUKTURĄ HYDROTECHNICZNĄ W ŚWIETLE PROGNOZOWANYCH ZMIAN KLIMATYCZNYCH

Pod redakcją  
WOJCIECHA MAJEWSKIEGO  
I TOMASZA WALCZYKIEWICZA

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej  
Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa 2012



SERIA PUBLIKACJI NAUKOWO-BADAWCZYCH IMGW-PIB

## ZRÓWNOWAŻONE GOSPODAROWANIE ZASOBAMI WODNYMI ORAZ INFRASTRUKTURĄ HYDROTECHNICZNĄ W ŚWIETLE PROGNOZOWANYCH ZMIAN KLIMATYCZNYCH

### **Recenzeci:**

prof. dr hab. inż. Rafał Miłaszewski  
dr hab. inż. Zbigniew Popek, prof. ndzw.  
prof. dr hab. inż. Szczepan Ludwik Dąbkowski  
prof. dr hab. inż. Piotr Kowalik

Praca przedstawia rezultaty projektu Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego) finansowanego ze środków Unii Europejskiej i budżetu państwa

### **Komitet Redakcyjny Wydawnictw IMGW-PIB**

prof. dr hab. inż. Janusz Zaleski – przewodniczący,  
mgr Karolina Racka – sekretarz,  
dr Rafał Bąkowski, dr inż. Ryszard Kosierb, dr Danuta Limanówka,  
dr hab. Halina Lorenc, prof. ndzw., dr Elżbieta Łysiak-Pastuszak,  
prof. dr hab. inż. Maciej Maciejewski, prof. dr hab. inż. Wojciech Majewski,  
dr inż. Mieczysław S. Ostojski, prof. dr hab. inż. Laura Radczuk,  
prof. dr hab. inż. Kazimierz Rózdzyński, mgr inż. Edmund Sieński,  
mgr Rafał Stepnowski, dr inż. Wiwiana Szalińska, dr hab. Jan Szturc,  
dr inż. Tamara Tokarczyk, dr inż. Tomasz Walczykiewicz,  
dr hab. inż. Jan Winter, prof. ndzw.

**ISBN 978-83-61102-68-7**

### **Wydawca**

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy  
01-673 Warszawa, ul. Podleśna 61, E. content@imgw.pl

**Projekt składa się z 9 zadań:**

**Zadanie 1:** Zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko naturalne Polski oraz określenie ich skutków ekonomicznych

Koordynator zadania: dr hab. Mirosław Miętus, prof. ndzw. (01.12.2008 r. – 30.11.2011 r.), prof. dr hab. Joanna Wibig (01.01.2012 r. – 30.06.2012 r.)

**Zadanie 2:** Stan zanieczyszczeń powietrza w Polsce i jego wpływ na jakość życia – możliwości ograniczenia skutków

Koordynator zadania: dr Leszek Ośródk

**Zadanie 3:** Zrównoważone gospodarowanie wodą, zasobami geologicznymi i leśnymi kraju

Koordynator zadania: dr inż. Tomasz Walczykiewicz

**Zadanie 4:** Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne (cywilne i ekonomiczne) kraju

Koordynator zadania: dr hab. Halina Lorenc, prof. ndzw.

**Zadanie 5:** Rozwój metod prognozowania i systemów ostrzegania przed groźnymi zjawiskami hydrologicznymi i meteorologicznymi oraz wykorzystanie ich do osłony kraju

Koordynator zadania: dr Michał Ziemiański

**Zadanie 6:** Bałtyk jako element systemu klimatycznego i jego rola w tworzeniu się stanów zagrożenia

Koordynator zadania: dr hab. Mirosław Miętus, prof. ndzw. (01.12.2008 – 30.11.2011), mgr inż. Ewa Jakusik (01.12.2011 – 30.06.2012)

**Zadanie 7:** Zagrożenia i uwarunkowania oraz możliwości realizacji krajowego zaopatrzenia w wodę ludności w świetle przepisów Unii Europejskiej

Koordynator zadania: mgr inż. Lidia Gutowska Siwiec

**Zadanie 8:** Przeciwdziałanie degradacji polskich zbiorników retencyjnych

Koordynator zadania: mgr inż. Edmund Sieński

**Zadanie 9:** Perspektywiczne zagospodarowanie dorzecza Wisły z systemem ocen wpływu inwestycji hydrotechnicznych na środowisko

Koordynator zadania: prof. dr hab. inż. Wojciech Majewski

**Niniejszy tom dotyczy zadań 3, 7, 8, 9 projektu KLIMAT.**



## OD AUTORA PROJEKTU

*Maciej Maciejewski*

Głównym wykonawcą Projektu jest Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy. W Projekcie wzięli również udział specjaliści z: Instytutu Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Uniwersytetu Gdańskiego, Morskiego Instytutu Rybackiego w Gdyni, Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w m. st. Warszawie, Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, Państwowego Instytutu Geologicznego, Szkoły Głównej Handlowej, Uniwersytetu im. A. Mickiewicza, Instytutu Upraw Nawożenia i Gleboznawstwa PIB, Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, Instytutu Badawczego Leśnictwa.

Zrealizowany Projekt jest odzewem na wielokrotnie formułowane wnioski o potrzebie badań w zakresie spodziewanych zmian klimatu i ich skutków dla gospodarki kraju. Interdyscyplinarny projekt uwzględnia:

- obszerną wiedzę dotyczącą problematyki zmian klimatu,
- oddziaływanie tych zmian na gospodarkę, środowisko i społeczeństwo,
- propozycje rozwiązań ograniczających skutki zmian klimatu,
- propozycje działań adaptacyjnych do nowych warunków środowiskowych w ważnych dziedzinach życia gospodarczego i społecznego.

Z uwagi na przewidywane formy zagrożeń wynikających z ocieplenia klimatu, jako krótko terminowe działania zostały opracowane propozycje bieżących ostrzeżeń oraz osłony gospodarki i społeczeństwa przed ekstremalnymi zjawiskami atmosferycznymi i hydrologicznymi.

Działania długofalowe znalazły swój wyraz w postaci klimatycznych modeli w skali regionalnej, scenariuszy oddziaływań klimatu na produkcję rolną i lasy, prognoz potrzeb wodnych oraz sposobów ochrony wód powierzchniowych i podziemnych, prognozy skutków ekonomicznych i społecznych w następstwie zmian klimatu i występowania zdarzeń ekstremalnych. Został również podjęty problem wypracowania systemu zaopatrzenia w wodę ludności w świetle przepisów UE (oraz wariantowych scenariuszy adaptacji do zmian klimatu).

Celem Projektu było określenie wpływu ocieplenia klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo oraz skutków i sposobów ich ograniczenia, a także

wypracowanie działań adaptacyjnych do nowych warunków środowiskowych i ważnych dziedzin życia gospodarczego i społecznego.

Celem użytkowym części Projektu jest dostarczenie decydom informacji o scenariuszach zmian klimatu i narzędzi pozwalających symulować różne warianty decyzji gospodarczo-społecznych w aspekcie minimalizacji strat wywołanych ewentualnymi zmianami czy wahaniami klimatu.

Zaprezentowane w Projekcie scenariusze określają zakres zmienności klimatu z jakim należy się liczyć w działaniach gospodarczych. Te dane szacunkowe, o określonym prawdopodobieństwie, dotyczące występowania ewentualnych zagrożeń ze strony klimatu oraz związane z nim skutki umożliwiają decydom podejmowanie decyzji – niestety w warunkach niepewności – oraz szacowanie stosunku koniecznych nakładów do przewidywanych strat.

Wstępne wyniki prac Projektu stanowiły podstawę do tworzenia nowych systemów osłony ludności i gospodarki na wypadek występowania groźnych zjawisk hydrologicznych i meteorologicznych oraz katastrof technologicznych. W następstwie przygotowano nowy projekt pn. *Informatyczny system osłony kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami (ISOK)*, który obecnie jest w trakcie realizacji.

Pełny materiał dokumentujący wykonanie każdego z 9 zadań w Projekcie zawarty jest w:

- sprawozdaniach miesięcznych, kwartalnych, rocznych obejmujących części poznawcze i aplikacyjne, modele, obliczenia, wyniki, wnioski, opracowania cząstkowe,
- czterech tomach opracowań końcowych:
  - I tom: *Warunki klimatyczne i oceanograficzne w Polsce i na Bałtyku Południowym – spodziewane zmiany i wytyczne do opracowania strategii adaptacyjnych w gospodarce krajowej* (zad. 1 i 6),
  - II tom: *Zmiany klimatu a prognozowanie i monitorowanie stanu środowiska atmosferycznego* (zad. 2 i 5),
  - III tom: *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju* (zad. 4),
  - IV tom: *Zrównoważone gospodarowanie zasobami wodnymi oraz infrastrukturą hydrotechniczną w świetle prognozowanych zmian klimatycznych* (zad. 3, 7, 8, 9).

Prace te przeznaczone są dla wszystkich tych, którzy mają wpływ na postęp cywilizacyjny kraju i zechcą w swoich działaniach uwzględnić problematykę tutaj prezentowaną, bez której dalszy rozwój Polski będzie niepełny. Łączy się to także z bezpieczeństwem wewnętrznym kraju w związku z degradacją środowiska naturalnego oraz klęskami żywiołowymi nawiedzającymi nasz kraj.

## **I. Postawienie problemu**

### **I.A. Wprowadzenie**

Klimat to całokształt czynników fizycznych atmosfery i warunków pogodowych charakterystycznych dla danego obszaru, kształtowanych pod wpływem położenia geograficznego i cech fizycznych tego obszaru oraz określonych na pod-

stawie wieloletnich pomiarów i obserwacji. Oznacza to, że na klimat Ziemi mają wpływ następujące czynniki zewnętrzne i wewnętrzne:

- intensywność promieniowania Słońca,
- erupcja wulkanów,
- okołozemskie prądy morskie i stałe wiatry (pasaty strefy równikowej),
- zmienność pokrywy lądowej w strefach okołobiegunowych,
- działalność człowieka.

Biorąc pod uwagę setki tysięcy lat aktywności Słońca i wulkanów, jako główną przyczynę ocieplenia się klimatu na Ziemi należy wskazać czynnik antropogeniczny, czyli rosnące stężenie gazów cieplarnianych.

Dane pochodzące z analizy izotopowej rdzeni lodowych również wykazują, że od 650 tysięcy lat nie było powietrza tak dużo CO<sub>2</sub> jak obecnie. W tym względzie przeważa pogląd, że wzrost stężenia atmosferycznych gazów cieplarnianych spowodowany działalnością człowieka obserwowany jest od początku ery industrialnej [Climate Change 2007: Synthesis Report, IPCC].

Z drugiej strony czynniki zewnętrzne i wewnętrzne mogą wykazywać charakter cykliczny, powodując ustalenie się nowego stanu równowagi atmosfery i hydrosfery. Wskazywać to może wtedy nie na ocieplenie lecz na ochłodzenie klimatu, o czym świadczy globalne ochłodzenie w XIX stuleciu mimo wzrostu ilości CO<sub>2</sub>. Ostre zimy i chłodne lata zaczęły się około 1650 r. i trwały do roku 1715, powodując wymarzenie upraw, głód i w konsekwencji liczne ofiary śmiertelne w Europie Północnej. Potem nastąpiło globalne ocieplenie.

Przyczyny współczesnego ocieplenia są obiektem wielu badań. Wnioski nie są jednoznaczne, a nauka dysponuje wieloma klimatycznymi modelami matematycznymi, pozwalającymi odtwarzać zmiany temperatury globalnej w ostatnim stuleciu oraz prognozować je z wyprzedzeniem do 100 lat. Jednak poziom niepewności tych przewidywań jest tak wysoki, że możliwe są różne scenariusze.

Warto w tej sytuacji być przygotowanym na obydwa warianty, gdyż w przyrodzie jedyną rzeczą pewną jest niepewność.

## **I.B. Modele klimatyczne**

Czy matematyczne modele klimatyczne, na podstawie których opracowane są prognozy przyszłych zmian klimatu są wiarygodne?

Odpowiedź jest prosta. Każdy model matematyczny opisujący procesy występujące w naturze, jeżeli nie zostanie potwierdzony eksperymentem pozostaje jedynie niepotwierdzoną teorią. Modele klimatycznych prognozujących zmiany klimatu trudno obecnie zliczyć. Z raportów ogłoszonych przez IPCC<sup>1</sup> wynika generalny

---

<sup>1</sup> IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change – organizacja założona w 1988 r. przez Światową Organizację Meteorologiczną (WMO) oraz Program Środowiskowy Organizacji Narodów Zjednoczonych (UNEP) celem oceny ryzyka związanego z wpływem człowieka na zmiany klimatyczne. IPCC opracowuje raporty dotyczące zmian klimatu, z których ostatni ukazał się w 2007 r. (tzw. ARY) a kolejny jest planowany na rok 2014.

wniosek: „ocieplenie klimatu jest spowodowane emisją antropogeniczną gazów cieplarnianych, a konsekwencje tego będą oddziaływać na działalność i życie człowieka w przyszłości”. Współczesne stanowisko IPCC nie wyklucza również dużego wpływu przyczyn naturalnych.

### **I.C. Monitorowanie zmian**

Niepewność wyników przedstawianych przez naukę sprawia, że przebieg zmian w systemie klimatycznym musi być monitorowany.

System monitoringu powinien być kompleksowy, skuteczny i powszechny. Kompleksowość tego systemu polega na tym, że obejmować on musi spójnie wszystkie istotne procesy fizyczne zachodzące w atmosferze i hydrosferze, które są powiązane różnymi związkami przyczynowo-skutkowymi, i z których każdy osobno lub kilka łącznie może wywierać niekorzystny wpływ na ludzi i gospodarkę. Kompleksowość systemu znajduje odzwierciedlenie w zintegrowanej meteorologicznej i hydrologicznej metodycy badawczej, zintegrowanym systemie pomiarowo-observacyjnym, a także zintegrowanej technice i technologii przesyłania, przetwarzania i gromadzenia danych. Dane te muszą być zbierane z wszystkich dostępnych źródeł z naziemnego systemu obserwacyjno-pomiarowego, systemu wymiany międzynarodowej, systemów satelitarnych i radarowych systemów teledetekcyjnych, wyników modeli meteorologicznych i hydrologicznych, które się wzajemnie weryfikują.

Skuteczność systemu monitoringu zmian klimatu oceniać będziemy trafnością przewidywania czasu i miejsca występowania oraz natężenia zjawisk przyrody niesprzyjających lub groźnych, z takim wyprzedzeniem w stosunku do momentu ich występowania, aby możliwe było zorganizowanie działań zaradczych i dostosowawczych, eliminujących lub redukujących zagrożenie życia oraz mienia gospodarczego. Powszechność zaś tego systemu wyrażać się będzie tym, w jakim stopniu zaspokajać on będzie potrzeby: indywidualne, zbiorowe, rządowe i samorządowe, pojawiające się w tym zakresie.

Do indywidualnych należy zaliczyć potrzeby wszystkich członków społeczeństwa, dostosowujących swoją aktywność osobistą i zawodową do zmiennych, prognozowanych warunków otoczenia na podstawie informacji hydrologiczno-meteorologicznej upowszechnianej przez środki masowego przekazu.

Spośród zbiorowych odbiorców na pierwszym miejscu należy wymienić takie działy gospodarki narodowej wymagającej osłony specjalistycznej, jak: obrona narodowa, gospodarka morska, rolnictwo, transport lądowy i morski, ochrona środowiska, a także sektor ubezpieczeń. Ponadto do grupy tej należy zaliczyć również takie dziedziny jak: gospodarkę wodną z osłoną przeciwpowodziową i problematyką suszy, energetykę, sadownictwo i rekreację. Najwyższy poziom w sektorze odbiorców informacji prognostycznej, monitoringowej zajmują organy władzy państwowej i samorządowej, które są odpowiedzialne za przygotowanie państwa do działań w sytuacjach niebezpiecznych i organizowania ochrony społeczeństwa przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń. (Warto w tym miejscu

wspomnieć, że w trakcie realizacji Projektu utworzono w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB Centrum Monitoringu Klimatu Polski).

#### **I.D. Scenariusze emisji i scenariusze klimatu Polski na lata 2011-2030<sup>2</sup>**

Opisane w raporcie IPCC scenariusze emisji gazów cieplarnianych SRES (Special Report on Emission Scenarios) otrzymały akronimy A1, A2, B1 i B2. Opisują one różne zmiany podstawowych czynników wpływających zarówno na globalny rozwój, jak również na emisję gazów cieplarnianych, m.in. wzrost liczby ludności, rozwój technologiczny i ekonomiczny, zużycie energii.

Scenariusz A1 zakłada gwałtowny wzrost gospodarczy oraz osiągnięcie wysokiego wzrostu populacji w XXI wieku. W tym scenariuszu, w grupie A1F1, zakłada się intensywne wykorzystanie paliw kopalnych, w grupie A1T – użycie innych źródeł energii niż paliwa kopalne, w grupie A1B – równowagę w wykorzystywaniu tych paliw.

Scenariusz A2 zakłada wysoki wzrost populacji, wolny wzrost ekonomiczny oraz powolne zmiany technologiczne.

Scenariusz B1 zakłada wysoka dynamikę wzrostu populacji jak i A1 przy czym zmiany technologiczne i ekonomiczne następują szybciej.

Scenariusz B2 to średni wzrost populacji i średni wzrost ekonomiczny z naciskiem na lokalne rozwiązania, zakładające zrównoważony rozwój w aspekcie ekonomicznym, społecznym i środowiskowym.

W projekcie KLIMAT opracowano dwa typy scenariuszy klimatycznych na lata 2011-2030:

- statystyczno-empiryczne scenariusze dla wybranych elementów meteorologicznych (temperatura powietrza, opady atmosferyczne, zachmurzenie, wilgotność powietrza) na podstawie symulacji modelu ECHAM-5 i statystyczno-empirycznego downscalingu<sup>3</sup>.
- dynamiczne scenariusze, w których symulacje klimatyczne przeprowadzono za pomocą modelu Reg CM31, z warunkami brzegowymi i początkowymi z eksperymentu EH5-T63L31-OM-GR15L40 wykonanego w ramach obliczeń dla potrzeb czwartego raportu IPCC AR4 w Instytucie Maxa Plancka w Hamburgu. Symulacje referencji (REF) dla okresu 1971-1990 oparto na eksperymencie 20 C3M, natomiast projekcje dla okresów 2011-2030 wykonano dla scenariuszy SRES A2, A1B i B1.

Projekcje zmian temperatury, otrzymane drogą dynamicznego downscalingu dla trzech scenariuszy emisji A2, A1B i B1, są zbliżone do otrzymanych metodami

<sup>2</sup> Dokładne wyniki badań przedstawiono w t. I pt. *Warunki klimatyczne i oceanograficzne w Polsce i na Bałtyku Południowym – spodziewane zmiany i wytyczne do opracowania strategii adaptacyjnych w gospodarce krajowej* (obejmuje zad. 1 i 6).

<sup>3</sup> Przechodzenie do coraz mniejszej skali.

statystycznymi. Jednakże ich jakość budzi wątpliwości, gdy porównamy je z obecnymi trendami temperatury. Przedstawione projekcje dotyczą różnic między okresem scenariuszowym 2011-2030, a referencyjnym 1971-1990. W przypadku niektórych sezonów, szczególnie wiosny i zimy, obserwowany w okresie 1971-2010 kierunek zmian temperatury jest przeciwny do tego na jaki wskazują projekcje.

Ta sytuacja spowodowała, że scenariusze w Projekcie postanowiono opracować na podstawie dużej liczby dostępnych symulacji, z wykorzystaniem różnych regionalnych modeli klimatu. Skoncentrowano wiązkę 14 symulacji: trzech wykonanych w IMGW-PIB z wykorzystaniem modelu RegCM oraz jedenastu innych symulacji wykonanych w ramach projektu ENSEMBLE. Ponieważ do roku 2030 wymuszenia związane z antropogenicznymi emisjami dwutlenku węgla do atmosfery w scenariuszach A2, A1B i B1 różnią się minimalnie, a wpływ tych różnic na symulowany klimat jest znacznie mniejszy od różnic związanych z wyborem modelu globalnego, regionalnego czy warunków początkowych, skoncentrowano jedną projekcję klimatu. Różnice między modelami pozwoliły na ocenę zakresu przewidywanych zmian i ich statystycznej istotności.

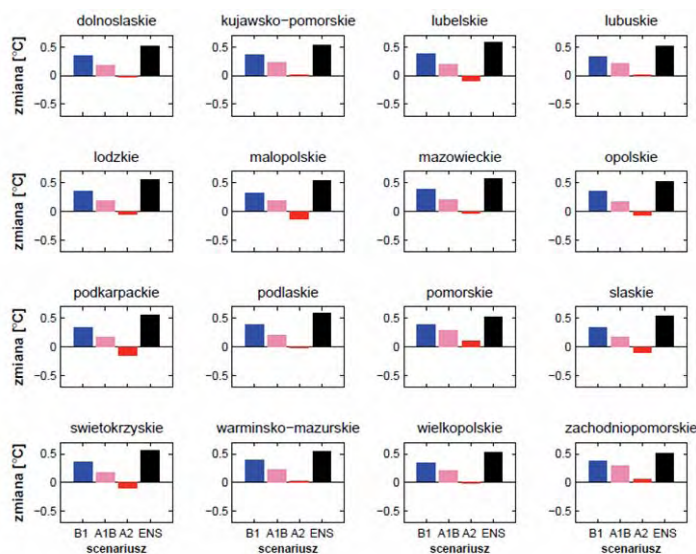
Scenariusze wiązkowe wskazują na kontynuację ocieplenia w ciągu najbliższych 20 lat. Ta zmiana jest zgodna z trendem obserwowanym w Polsce od połowy XX wieku. We wszystkich porach roku, oprócz wiosny, wzrost temperatury między okresami 1971-1991 a 2011-2030 wyniesie od 0,5 do 0,7°C.

Wiosną prognozowane ocieplenie będzie mniejsze i wyniesie 0,2-0,4°C. Wraz z temperaturą średnią rosną temperatury minimalna i maksymalna, przy czym wzrost temperatury maksymalnej jest nieznacznie mniejszy od średniej, a minimalnej nieco większy. Ocieplenie spowoduje wzrost częstości pojawiania się dni gorących i upalnych oraz spadek liczby dni przymrozkowych i mroźnych. Te zmiany są spójne na obszarze całego kraju i zgodne z kierunkiem zmian obserwowanym od połowy XX wieku.

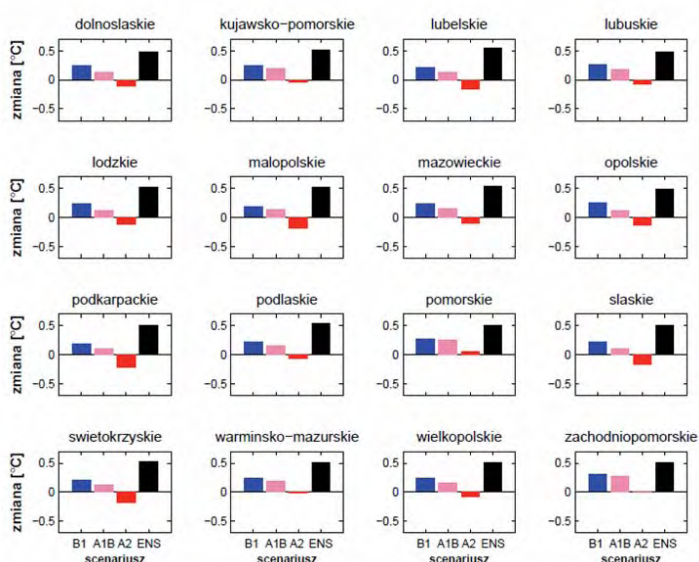
Prognozowane zmiany opadów nie są już ani tak wyraźne, ani jednorodne w czasie i przestrzeni. Przewiduje się, że roczne sumy opadów dla okresu 2011-2030 w stosunku do okresu referencyjnego 1971-1990 minimalnie wzrosną. Wzrost o 1-4% nie jest istotny statystycznie i rozrzut między prognozami różnych modeli w wiązce nie gwarantuje, że te prognozy się sprawdzą. W skali sezonów nieznaczny wzrost sum opadów, sięgający kilku procent, jest prognozowany od jesieni do wiosny, natomiast latem bardziej prawdopodobny jest spadek, sum opadu do 2%. Duży rozrzut prognoz między uwzględnionymi modelami powoduje jednak, że ich statystyczna istotność jest niska. Jest to zgodne ze zmianami obserwowanymi od połowy ubiegłego wieku – nieznacznym, statystycznie nieistotnym wzrostem rocznych sum opadu i brakiem statystycznie istotnych zmian w sezonach. Liczba dni z opadem przekraczającym 10 i 20 mm może nieco wzrosnąć od jesieni do wiosny. Wzrosty, choć procentowo duże, w bezwzględnych liczbach oznaczają od 1 do 5 więcej takich dni w sezonie, ponieważ obecnie, poza późną wiosną i latem, dni z takim opadem są rzadkością. Latem liczba dni z wysokim opadem prawdopodobnie spadnie. To również jest zgodne z obecnie obserwowanymi trendami.

Wysoka zgodność prognoz wiązkowych z obserwacjami, w sytuacji gdy większość czasu od okresu referencyjnego do scenariuszowego jest już za nami, zwiększyła zaufanie do scenariuszy wiązkowych, a stawia pod znakiem zapytania wiarygodność scenariuszy otrzymanych na drodze statystycznego lub dynamicznego downscalingu wyników model ECHAMS run 1.

Poniżej przedstawiono – przykładowo – zmiany termiczne w województwach.



Rys. 1. Zmiany średniej rocznej temperatury wg scenariusza IMGW-B1 (niebieski), IMGW-A1B (różowy), IMGW-A2 (czerwony), wiązki (czarny)

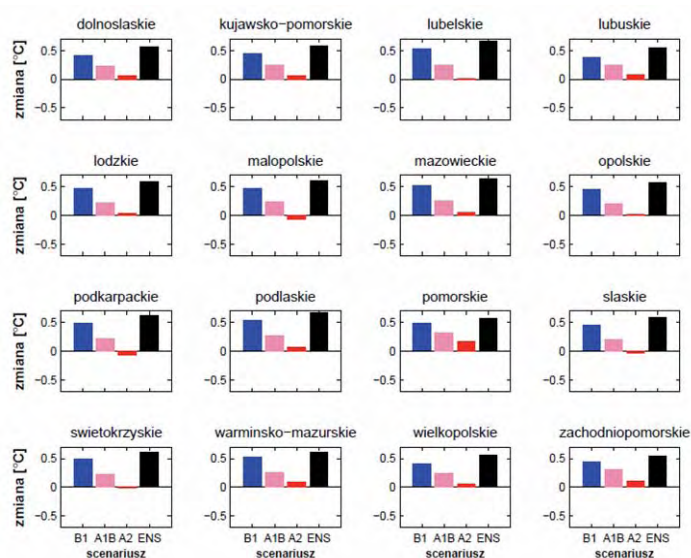


Rys. 2 Zmiany średniej maksymalnej temperatury wg scenariusza IMGW-B1 (niebieski), IMGW-A1B (różowy), IMGW-A2 (czerwony), wiązki (czarny)

Dla scenariuszy emisji A2, A1B i B1 oraz dla scenariusza wiązkowego policzono dodatkowo zmianę średniej rocznej temperatury powietrza w każdym z 16 województw (rys. 1).

Symulacje IMGW prognozują nieznaczne ocieplenie. Gdyby sprawdził się scenariusz emisji B1, symulacje przewidują ocieplenie o 0,3-0,4°C, w przypadku scenariusza emisji A1B przewidywane ocieplenie wyniosłoby 0,15-0,3°C, natomiast według scenariusza A2 temperatura nie powinna się zmienić, bowiem przewidywane różnice temperatury mieszczą się w granicach od -0,1°C do 0,1°C. Według scenariusza wiązkowego średnia temperatura roku wzrośnie we wszystkich województwach. Na przeważającym obszarze kraju ocieplenie wyniesie 0,5°C. Na wschodzie i południu kraju, w województwach mazowieckim, warmińsko-mazurskim, świętokrzyskim, lubelskim, śląskim, małopolskim, podkarpackim i podlaskim wzrost temperatury będzie nieco wyższy i wyniesie 0,6°C.

Dla temperatury maksymalnej scenariusz wiązkowy przewiduje wzrost o 0,5°C na terenie całego kraju oprócz województw: mazowieckiego, podlaskiego i lubelskiego, w których temperatura maksymalna będzie większa o 0,6°C (rys. 2). Symulacje IMGW i w tych przypadkach przewidują mniejsze ocieplenie. W przypadku scenariusza emisji B1 jest to 0,15-0,25°C, dla scenariusza A1B – 0,1-0,2°C. Scenariusz A2 dla trzynastu województw przewiduje niewielki spadek temperatury maksymalnej (do 0,2°C), dla dwóch wzrost o około 0,1°C, a dla województwa warmińsko-mazurskiego brak zmian.



Rys. 3. Zmiany średniej minimalnej temperatury wg scenariusza IMGW-B1 (niebieski), IMGW-A1B (różowy), IMGW-A2 (czerwony), wiązkowego (czarny)

Dla temperatury minimalnej scenariusz wiązkowy przewiduje wzrost o 0,5°C na terenie województw: zachodniopomorskiego, lubuskiego i dolnośląskiego, o 0,6°C dla województw: pomorskiego, wielkopolskiego, kujawsko-pomorskiego, łódzkiego, opolskiego i śląskiego. W pozostałych województwach temperatura minimalna wzrośnie około 0,7°C (rys. 3). Symulacje IMGW przewidują mniejsze ocieplenie. W przypadku scenariusza emisji B1 jest to 0,4-0,5°C, dla scenariusza A1B – 0,2-0,3°C. Scenariusz A2 przewiduje niewielki spadek temperatury mini-



malnej (poniżej 0,1°C) w województwach podkarpackim i śląskim, brak zmian w województwach świętokrzyskim, lubelskim i niewielki wzrost, nieprzekraczający 0,15°C dla pozostałych województw.

## **II. Reakcja i wrażliwość gospodarki na zmiany klimatu**

O tym, że pogoda ma wpływ na gospodarkę powszechnie wiadomo. Jak wynika z danych Departamentu Handlu Stanów Zjednoczonych 12% produktu krajowego brutto (PKB) jest bezpośrednio wrażliwe na zmiany pogody o charakterze niekatastrofalnym. Stąd możemy mówić o „ryzyku pogodowym”, zarządzaniu nim i rozwijającym się rynku „umów na pogodę” w firmach ubezpieczeniowych.

„Odpowiedzi” poszczególnych sektorów gospodarki na zmiany klimatu przebiegają inaczej. Są to zmiany powolne, a gdy odnieść je do koncentracji gazów cieplarnianych to reakcje klimatu na nie następują z dużym opóźnieniem. Także proces adaptacji gospodarki, dobrze zaplanowany, może być realizowany systemowo, przy rozłożonych na dłuższy okres kosztach działań dostosowawczych.

Do sektorów najbardziej wrażliwych na zmiany klimatu należy zaliczyć: energetykę, budownictwo, rolnictwo, turystykę i rekreację.

Sektor energetyczny bezpośrednio reaguje na zmiany. Im wyższa temperatura powietrza tym większe zużycie energii przez systemy klimatyzacyjno-wentylacyjne, a im niższa tym większe staje się zapotrzebowanie na energię do ogrzania pomieszczeń. Zmiany klimatyczne mogą doprowadzić do redukcji przepływu w rzekach wykorzystywanych do chłodzenia urządzeń w elektrowniach ciepłych i nuklearnych. Może także nastąpić zmiana reżimu hydrologicznego rzek co zakłóci pracę elektrowni wodnych.

Sektor budownictwa stanąć może przed problemem niedostatecznych wytrzymałości konstrukcji, nieodpowiednich materiałów oraz niedostosowanych norm budowlanych do bardzo silnych wiatrów i obciążeń konstrukcji śniegiem.

Sektor rolnictwa musi się liczyć z zmianami w hodowli roślin i modyfikacji agrotechniki przez zmiany w doborze uprawianych gatunków roślin czy rejonizacji produkcji.

Istnieją udokumentowane dowody, że niektóre choroby zakaźne zwierząt (zwłaszcza przenoszone przez owadzie wektorów cechujących się sezonowością, co jest związane z ociepleniem klimatu) są konsekwencją zmiennych warunków dla wegetacji roślin i bytowania zwierząt. W tej sytuacji sektor rolniczy musi liczyć się z podjęciem specjalistycznych prac adaptacyjnych nad epidemiologią chorób zakaźnych zwierząt domowych.

Turystyka i rekreacja. Ośrodki górskie mogą być narażone przede wszystkim na wysoką temperaturę powietrza lub brak opadów śniegu w sezonie zimowym. Z kolei ośrodki nadmorskie polskiego wybrzeża mogą zyskać ze względu na ocieplenie wód Bałtyku.

### **III. Zadania dla sektorów gospodarki odpowiedzialnych za przeważającą część krajowej emisji gazów cieplarnianych**

Klimat Ziemi jest zjawiskiem zmiennym i złożonym, a wpływ na niego ma wiele czynników. Na obecnym etapie rozpoznania nie jesteśmy w stanie jednoznacznie określić w jakim stopniu ocieplenie powietrza na powierzchni Ziemi jest spowodowane procesami energetycznymi działalności człowieka, a w jakim czynnikami naturalnymi, w tym zjawiskami zachodzącymi na powierzchni Słońca.

Źle realizowane przez człowieka procesy energetyczne najbardziej szkodzą tu, teraz, dlatego należy podejmować kompleksowe działania ochronne, adaptacyjne i łagodzące skutki, tzn.:

- rozwijać nowe technologie, efektywniej wykorzystujące surowce energetyczne,
- racjonalnie oszczędzać energię,
- ograniczać emisję gazów cieplarnianych oraz zwiększać ich absorpcję,
- ograniczyć zużycie nieodnawialnych źródeł energii na rzecz odnawialnych,
- ograniczać emisję toksyczną pochodzącą z różnych źródeł transportu, upowszechniać w społeczeństwie ekologiczne środki transportu, w tym rowery
- szeroko stosować handel emisjami,
- wprowadzać mechanizmy finansowe wspierające działania zmierzające do redukcji emisji gazów cieplarnianych,
- prowadzić ciągłą działalność edukacyjną, szkoleniową, obejmującą całe społeczeństwo, wszystkie grupy wiekowe i zawodowe, a także władze na szczeblu centralnym i lokalnym.

W szczególności należy podjąć następujące działania na rzecz redukcji gazów cieplarnianych:

#### w przemyśle:

- modernizować technologie produkcji, m.in. poprzez wdrażanie najlepszych praktyk, wprowadzać innowacje i poprawiać wydajność,
- ograniczać zużycie energii i innych mediów na jednostkę produktu,
- stosować zamiennik F-gazów w urządzeniach chłodniczych i klimatyzacyjnych,
- wprowadzać nowoczesne metody zarządzania i kontroli,

#### w energetyce i w budownictwie:

- rozwijać różne formy produkcji energii z źródeł odnawialnych: woda, wiatr, słońce, biogaz, odpady drewna, geotermia (w tym energetyka rozproszona),
- wprowadzać różne mechanizmy finansowe wspierające produkcję energii z odnawialnych źródeł energii,
- rozszerzać wydawanie świadectw energetycznych budynkom, dotyczących wymagań techniczno-budowlanych dla racjonalnego wykorzystania energii w zakresie ochrony cieplnej, instalacji grzewczej, wentylacji i klimatyzacji,

#### w transporcie:

- stosować rozwiązania techniczne takie jak:

- nowoczesne konstrukcje samochodowe, szynowe i samolotowe, ograniczające zużycie paliw,
- budowa autostrad, dróg szybkiego ruchu i obwodnic,
- budowa infrastruktury rowerowej i upowszechnianie roweru jako ekologicznego środka transportu,
- stosować rozwiązania organizacyjne takie jak:
  - programy zachęcające do stosowania biopaliw,
  - promocja transportu publicznego,

#### w rolnictwie i leśnictwie

- stosować szerzej bioetanol do napędu maszyn rolniczych i transportu,
- wdrażać najlepsze (dobre) praktyki w rolnictwie, m.in. w technologiach upraw i hodowli (wychwytywanie metanu),
- w drodze stopniowego, długotrwałego procesu dostosowawczego przygotować programy adaptacji rolnictwa, głównie w Polsce północno-wschodniej (gdzie obserwowany jest wzrost średniej temperatury powietrza i wydłużenie okresu wegetacyjnego), w zakresie zmian w hodowli roślin, modyfikacji, agrotechniki, doborze uprawnych gatunków roślin i rejonizacji produkcji,
- racjonalnie stosować nawozy sztuczne,
- stosować zachęty i działania wspierające zalesienia oraz odnowienia zasobów leśnych w lasach prywatnych,

#### w gospodarce komunalnej

- zmniejszać energochłonność urządzeń do uzdatniania wody i przepompowni, ograniczać koszty energetyczne przesyłu wody do odbiorców,
- obniżać energochłonność w oczyszczalniach ścieków, wdrażać produkcję gazu i energii z osadów ściekowych
- aktywizować recykling odpadów wraz z pozyskiwaniem gazu z wysypisk.

### **IV. Działania adaptacyjne do prawdopodobnych zmian klimatycznych**

#### W gospodarce wodnej działania adaptacyjne to:

- dbałość o zasoby wodne tak, aby w przyszłości zaspokojone były potrzeby wodne ludności, rolnictwa, gospodarki żywnościowej i przemysłu. W szczególności chodzi o monitorowanie zmian bilansu wodnego (jakości i ilości) w celu przewidywania potencjalnych jego zmian w przyszłości, w tym cech biologicznych, fizycznych i chemicznych ekosystemów wodnych,
- ograniczanie ryzyka strat spowodowanych przez powódzie i susze,
- odtwarzanie i tworzenie małej retencji, szerokie działania renaturyzacyjne,
- budowa zbiorników retencyjnych dla uzyskania przepływów dyspozycyjnych w rzekach oraz zaopatrzenia w wodę: hydroenergetyki, rybołówstwa, transportu, turystyki i rekreacji.

Działania adaptacyjne dotyczące polskiej strefy Bałtyku to:

- zabezpieczenie wrażliwych obszarów wybrzeża (ok. 2400 km<sup>2</sup>) przed ryzykiem powodzi związanych z podniesieniem się poziomu wód Bałtyku,
- zapewnienie stabilizacji linii brzegowej: plaż, klifów i wydm przed erozją morza.

## **V. Ryzyko działań strategicznych dotyczących zmian klimatu**

### **V.A. Scenariusze szans i niepowodzeń działań strategicznych związanych ze zmianami klimatu**

Patrząc w przyszłość można brać pod uwagę dwa scenariusze działań strategicznych związanych ze zmianami klimatu: scenariusz szans i scenariusz niepowodzeń.

W scenariuszu szans przystąpienie Polski do UE i konieczność spełnienia dość surowych wymogów w zakresie standardów gospodarczo-społecznych i prawnych, niewątpliwie wymusza zmniejszenie emisji antropogenicznej gazów cieplarnianych, co skutkować będzie również ograniczeniem zagrożeń wywołanych ekstremalnymi, lokalnymi zjawiskami meteorologicznymi i hydrologicznymi. Łagodzenie zaś skutków zagrożeń naturalnych związane jest z bogaceniem się państwa i społeczeństwa. W takich warunkach należy się spodziewać zwiększania środków na monitoring, prace osłonowe oraz doskonalenie sprawności służb ratowniczych, działających na rzecz ograniczenia skutków zagrożeń.

Gdyby przyjąć scenariusz niepowodzeń, a w nim wariant krytyczny, w którym nastąpi pogłębienie różnorodnych sytuacji kryzysowych, to należy liczyć się z utrwaleniem zacofania technologicznego. Skutkiem tego byłoby zwiększenie ryzyka powstawania katastrof i awarii technologicznych (powolnych i szybkich), zwiększenie ryzyka zagrożenia zdrowia i życia ludzi oraz powiększenia obszarów ekologicznego zagrożenia. Scenariusz niepowodzeń to także taka sytuacja, gdy w wyniku niezrozumiałych przyczyn następuje zaniechanie wszelkich działań ochronnych i adaptacyjnych do zmian klimatu.

Ponieważ zmiany klimatyczne to proces powolny i długotrwały, istnieją realne szanse aby w ramach strategicznego planowania działań adaptacyjnych:

- zabezpieczyć środki finansowe,
- dostosować technologie,
- zmienić odpowiednie uregulowania prawne,
- pobudzać rozwój infrastruktury komunalnej i rolnej,
- zbudować nowe powiązania kooperacyjne,
- kreować zmiany mentalności ludzi w różnych strefach ich aktywności,
- przygotować bazę naukowo-badawczą wspierającą ww. działania.

W obydwu scenariuszach, wobec różnych uwarunkowań zewnętrznych i wewnętrznych, istnieje niepewność kierunku rozwoju kraju. Ryzyko i niepewność

stanowią nieodłączny element procesów decyzyjnych, które ujawniają się szczególnie jaskrawo przy reagowaniu w warunkach tworzenia się sytuacji niebezpiecznej, wywołanej np. gwałtownym zdarzeniem pogodowym.

### **V.B. Podejmowanie decyzji w warunkach niepewności**

W ostatnich latach obserwuje się dramatyczny, związany prawdopodobnie ze zmianami klimatu, wzrost zagrożeń wywołanych ekstremalnymi zjawiskami meteorologicznymi i hydrologicznymi.

Racjonalne reagowanie (zarządzanie, podejmowanie decyzji) w odniesieniu do tych zjawisk pogodowych powinno być związane z prewencją i kontrolą ryzyka zagrożenia (niebezpiecznego zdarzenia). Oznacza to, że po otrzymaniu informacji o możliwości zaistnienia zdarzenia podejmuje się decyzję, której celem ma być ograniczenie skutków zdarzenia, jego uniknięcie, bądź też tylko akceptacja jego wystąpienia.

W odniesieniu do zjawisk przyrody, o których tutaj mowa, ze względu na skomplikowany, nie w pełni poznany system przyczynowo-skutkowy kształtujący interesujące nas zjawiska i procesy, gdy trudno jest uzyskać w pełni obiektywny opis probabilistyki zjawiska, działamy w warunkach niepewności.

Podejmowanie w takich warunkach decyzji może iść w trzech (i więcej) kierunkach:

- pierwszym, polegającym na normatywnym sformułowaniu formy działania, ściśle określonym przez nadrzędną agencję rządową (np. sterowanie zbiornikiem retencyjnym wg instrukcji, mimo że dynamiczny charakter procesu retencji wskazywałby na potrzebę odstąpienia od instrukcji),
- drugim, wiążącym się ze stosowaniem specjalnych technik podejmowania decyzji, np. kwantyfikacja stopnia niepewności, wielokryterialne metody podejmowania decyzji, oceny ryzyka (np. aktywne podejście dyspozytora do systemu sterowania zbiornikiem w wyniku wielokrotnie powtarzanych symulacji opartych na ciągach historycznych),
- trzecim, polegającym na całkowicie subiektywnej decyzji decydenta, wynikającej z jego doświadczenia (np. wysadzanie wału przeciwpowodziowego) lub wręcz upodobań.

Warto jednak podkreślać, że obszar ryzyka odpowiadający danemu ekstremalnemu zdarzeniu przyrodniczemu lub inaczej obszar zmienności tego zjawiska meteorologicznego czy hydrologicznego, można określić jedynie z pewnym przybliżeniem. Dlatego pomijanie w procesach decyzyjnych niepewności wynikającej z samej struktury (charakteru) zjawiska jest błędem prowadzącym często do wielkich szkód i zagrożenia życia.

### **V.C. Działania w zakresie klęsk żywiołowych**

Degradacja środowiska związana z szybkim rozwojem gospodarczym, ale także ze zmianami klimatu zwiększa ryzyko wystąpienia katastrof naturalnych. Po-

nadto na skutek zwiększonej produkcji, rozwoju transportu i składowania oraz magazynowania niebezpiecznych odpadów stwarzane są dogodne warunki do wywołania klęsk (awarii) technologicznych.

Katastrofy Na-Tech (naturalno-techniczne), o charakterze synergicznym, często przekraczają naturalne granice swego powstawania i stanowią zwiększone zagrożenie dla ludności całych regionów. To z kolei określa potrzebę spojrzenia na ryzyko wystąpienia klęsk żywiolowych poprzez pryzmat urbanizacji. Skutki katastrof mogą być zredukowane, ale tylko wtedy, gdy będą traktowane jako integralna część w planach przyznawania środków oraz racjonalnym zagospodarowaniu przestrzennym i urbanizacji. Planiści i specjaliści różnych dyscyplin powinni być zaangażowani w działania zapobiegające klęskom.

W prewencyjnym planowaniu rozwoju miast do uwzględnienia są 3 aspekty:

- duża podatność społeczności miejskich na zagrożenia Na-Tech spowodowana koncentracją ludności, akumulacją dobytku oraz silną zależnością od kluczowych urządzeń technicznych i infrastruktury, które wpływają na wielkość zagrożenia. Z powyższych przesłanek powinien wynikać dobór osłonowych środków inżynierskich i zakres planowania,
- konieczność sprawnej organizacji akcji prewencyjnych i ratowniczych z udziałem społeczności lokalnej (OC – treningi, szkolenia), także przy likwidacji strat,
- konieczność prowadzenia powszechnej edukacji o zagrożeniach.

Należy pamiętać, że każde działanie w tym zakresie ma znaczący wymiar ekonomiczny. Aby go zoptymalizować celowe jest sformułowanie długofalowych zadań dla różnych dziedzin nauki i praktyki inżynierskiej.

W prewencyjnych działaniach na rzecz ochrony środowiska naturalnego należy surowo przestrzegać nieprzekraczania granicznych ładunków zanieczyszczeń wody, powietrza i gleby. Naruszenie tego reżimu spowoduje, że natura okaże się bezbronna, a zmiany które nastąpią będą nieodwracalne.

Zagrożenia naturalne i technologiczne stanowią stałe niebezpieczeństwo dla ludności, a ich skutki to duże straty w mieniu, infrastrukturze i środowisku. W związku z postępującym zainwestowaniem przestrzeni oraz zmianami klimatu, które zwiększają skutki zdarzeń niebezpiecznych, konieczne jest ciągle doskonalenie systemu osłony, ratownictwa i postępowania po klęsce. Konieczne jest kompleksowe i logistyczne podejście do tego problemu zarówno w zakresie badawczym, jak i operacyjnym.

Prowadzone prace badawcze i działania (wyjawszy „gry polityczne”) powinny mieć jeden cel: zapewnić bezpieczeństwo wewnętrzne państwa i spowodować, by jego obywatele czuli, że są osłaniani przez odpowiednie organy władzy w krytycznych sytuacjach. Niemniej ważna jest gotowość rządzących i ludności cywilnej do akceptacji zmian i dostosowania się do nich, w czym nieoceniona jest wiedza o zjawiskach i powszechna edukacja.

Z problematyką klimatu jest jak z historią (prehistorią) narodów. Nie ma i nie powinno być podziału na „kapłanów” i „wiernych”, a więc tych co podają laikom

pewne prawdy do wierzenia i tych, którzy muszą im na słowo honoru uwierzyć. Nie wszystko jest wyjaśnione, pozostaje mnóstwo problemów spornych, wśród nich i takie, w których nauka nigdy chyba nie wypowie swego ostatecznego zdania.

## **VI. Wskaźniki realizacji osiągnięcia celów Projektu**

W wyniku realizacji Projektu zaistnieją przesłanki do:

- zwiększenia zasobów wód powierzchniowych poprzez zwiększenie retencji,
- uwzględnienia we wszystkich wojewódzkich planach zagospodarowania przestrzennego problemów gospodarki wodnej wobec zmian klimatu – jako ważnego uwarunkowania rozwoju regionu,
- wprowadzenia norm budowlanych uwzględniających zmiany obciążeń budowlanych w wyniku ekstremalnych warunków pogodowych (śnieg, wiatr),
- zmniejszania ryzyka susz i powodzi,
- wdrażania modeli do oceny poziomu emisji pyłu zawieszonego PM2.5,
- zwiększania dostępności do informacji o gwałtownych zanieczyszczeniach ujęć wody,
- opracowania propozycji edukacyjnych nawiązujących do Projektu,
- podniesienie jakości prognoz meteorologicznych przy użyciu modelu subsy-  
optycznoskalowego,
- uznania strefy brzegowej Bałtyku za rejon konfliktu pomiędzy rozwojem go-  
spodarczym, a zachowaniem naturalnego krajobrazu wraz z istniejącymi geo-  
systemami i dostosowanie do tego perspektywicznych planów zagospodaro-  
wania przestrzennego.

## **VII. Wniosek generalny**

Nie rozpoznano do końca, na ile ocieplenie klimatu spowodowane jest działalnością człowieka, a na ile czynnikami naturalnymi. Nie oznacza to, że mamy nic nie robić. Wprost przeciwnie. Powinniśmy w ramach długofalowej strategii państwa ograniczać ilość i stężenie dwutlenku węgla w powietrzu. Chodzi więc o taką modernizację energetyki, transportu, rolnictwa i gospodarki komunalnej aby maksymalnie ograniczać zużycie energii w ogóle, a tym samym – w przypadku Polski zaoszczędzić jak najwięcej zasobów węgla dla następnych pokoleń. Równocześnie powinniśmy intensyfikować produkcję energii w oparciu o czyste źródła energii odnawialnej oraz energii jądrowej, i to mimo opóźniających te działania przedstawicieli przemysłu i lobby paliw kopalnych obawiających się utraty zysków. (Pewnym optymizmem napawa fakt zainteresowania się niektórymi polskimi spółkami energetycznymi budową nowych elektrowni i elektrociepłowni zasilanych gazem). Każdy krok w tym kierunku będzie krokiem do przodu naszej gospodarki.

W tym przypadku nie chodzi o wizjonerski świat, lecz o twarde chodzenie po ziemi.





## Spis treści

<b>PRZEDMOWA</b> .....	3
<i>Wojciech Majewski, Tomasz Walczykiewicz</i>	
<b>CZĘŚĆ I. ZARZĄDZANIE ZASOBAMI WODNYMI W POLSCE W ŚWIETLE ZMIAN KLIMATU</b> .....	5
Wprowadzenie .....	7
<i>Maciej Maciejewski, Tomasz Walczykiewicz</i>	
Metodyka prac przyjęta w zadaniu .....	12
<i>Paweł Madej, Tomasz Walczykiewicz</i>	
Scenariusze rozwoju społeczno-gospodarczego i scenariusze wodne .....	17
<i>Roman Konieczny, Paweł Madej, Małgorzata Siudak, Tomasz Walczykiewicz, Renata Bogdańska-Warmuz</i>	
Zasoby wodne i prognoza ich zmian .....	34
<i>Małgorzata Barszczyńska, Małgorzata Długosz, Danuta Kubacka, Anna Łudzik, Paweł Madej, Małgorzata Szopnicka</i>	
Potrzeby wodne gospodarki i prognoza ich zmian .....	51
<i>Celina Rataj, Tomasz Walczykiewicz, Renata Bogdańska-Warmuz, Łukasz Woźniak, Joanna Wróbel, Barbara Zientarska</i>	
Zmiany klimatu a ekosystemy wodne i z wodą związane .....	66
<i>Katarzyna Czocho, Krzysztof Kulesza, Magdalena Kwiecień, Małgorzata Szopnicka</i>	
Przykłady modelowania wodnogospodarczego w wybranych zlewniach pilotowych .....	76
<i>Ilona Biedroń, Marta Bedryj, Agnieszka Boroń, Urszula Opiał-Gałuszka, Danuta Kubacka, Magdalena Kwiecień, Jadwiga Łaciak, Anna Łudzik</i>	
Wnioski dla koncepcji adaptacyjnego zarządzania zasobami wodnymi .....	90
<i>Roman Konieczny, Maciej Maciejewski, Małgorzata Siudak, Tomasz Walczykiewicz</i>	
Kierunki wykorzystania wyników prac .....	97
<i>Magdalena Kwiecień, Jadwiga Łaciak, Maciej Maciejewski, Tomasz Walczykiewicz</i>	
<b>CZĘŚĆ II. WPŁYW ZMIAN KLIMATYCZNYCH NA JAKOŚĆ ZASOBÓW WODNYCH WYKORZYSTYWANYCH DO ZAOPATRZENIA LUDNOŚCI W WODĘ</b> .....	105
Wprowadzenie .....	107
<i>Lidia Gutowska-Siwiec</i>	
Metodyka prac .....	109
<i>Marek Ślesicki, Lidia Gutowska-Siwiec, Paweł Trandziuk</i>	

Wpływ zmian klimatycznych na wybrane wskaźniki jakości wód powierzchniowych .....	116
<i>Marek Ślesicki</i>	
Wpływ zmian klimatycznych na jakość wód pobieranych do zaopatrzenia ludności .....	138
<i>Paweł Trandziuk, Krzysztof Witowski</i>	
Systemy wczesnego ostrzegania w ochronie ujęć wody .....	147
<i>Lidia Gutowska-Siwięc</i>	
Wnioski dla zarządzania systemami zaopatrzenia w wodę – podsumowanie wyników prac .....	156
<i>Lidia Gutowska-Siwięc</i>	
<b>CZEŚĆ III. ZAMULENIE POLSKICH ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH. DIAGNOZA STANU I PROPONOWANE PRZECIWDZIAŁANIA .....</b>	<b>161</b>
Wprowadzenie .....	163
<i>Jerzy Kloze, Edmund Sieński</i>	
Diagnoza i prognoza stanu polskich zbiorników retencyjnych .....	189
<i>Urszula Dmitruk, Jerzy Kloze, Edmund Sieński</i>	
Niezbędne działania .....	214
<i>Urszula Dmitruk, Jerzy Kloze, Edmund Sieński</i>	
Podsumowanie .....	224
<i>Urszula Dmitruk, Jerzy Kloze, Edmund Sieński</i>	
<b>CZEŚĆ IV. OBECNE ZAGOSPODAROWANIE WISŁY I JEJ DORZECZA ORAZ PROPONOWANE ZMIANY W ŚWIETLE PROGNOZOWANYCH ZMIAN KLIMATYCZNYCH .....</b>	<b>231</b>
Wprowadzenie .....	233
<i>Wojciech Majewski, Michał Marcinkowski, Rafał Stepnowski</i>	
Charakterystyka hydrologiczna .....	244
<i>Michał Marcinkowski, Jan Winter</i>	
Pokrycie terenu dorzecza Wisły .....	254
<i>Michał Marcinkowski</i>	
Infrastruktura hydrotechniczna w dorzeczu Wisły .....	262
<i>Tomasz Walczykiewicz, Ilona Biedroń, Jadwiga Łaciak, Łukasz Woźniak</i>	
Powodzie i susze .....	273
<i>Michał Marcinkowski, Witold Jaworski, Jan Winter, Łukasz Chudy</i>	
Scenariusze zmian w zasobach wodnych wynikające z możliwych zmian klimatu .....	286
<i>Ilona Biedroń, Tomasz Walczykiewicz</i>	
Odływ jednostkowy ze zlewni różnicowych dorzecza Wisły .....	291
<i>Rafał Stepnowski, Michał Marcinkowski</i>	
Ramowy system ocen oddziaływania na środowisko .....	299
<i>Tomasz Walczykiewicz, Ilona Biedroń, Jadwiga Łaciak</i>	
Podsumowanie .....	309
<i>Wojciech Majewski</i>	

## Przedmowa

*Wojciech Majewski, Tomasz Walczykiewicz*

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy realizuje od 2008 r. projekt KLIMAT pt. *Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo*. Składa się on z dziewięciu zadań obejmujących różne dziedziny związane z możliwymi zmianami klimatu. Projekt jest zgodny z celami i założeniami Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka i służy budowie gospodarki opartej na wiedzy. Głównym zadaniem jest przygotowanie nauki, gospodarki i społeczeństwa na potencjalne zmiany klimatyczne. Projekt KLIMAT jest również zgodny z celami i założeniami polityki naukowo-technicznej, polityki innowacyjnej państwa oraz Unii Europejskiej. Uwzględnia kompleksową wiedzę obejmującą problematykę zmian klimatu oraz ich negatywne oddziaływanie na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo.

Pojęcie **klimatu** jest zwykle definiowane jako zestaw zjawisk pogodowych, dla danego obszaru, określony na podstawie wieloletnich obserwacji jego podstawowych składników. Obejmuje temperaturę powietrza, opady atmosferyczne, wilgotność oraz wiatr. Okres obserwacji zalecany przez Światową Organizację Meteorologiczną wynosi 30 lat.

Pod pojęciem **zmian klimatu** rozumie się postępujące zmiany fizyczne i chemiczne atmosfery, prowadzące do ustalenia się nowego stanu równowagi. Zmiany te mogą wynikać z naturalnych wewnętrznych procesów zachodzących w atmosferze lub z oddziaływań zewnętrznych o charakterze antropogenicznym oraz zmian w użytkowaniu powierzchni ziemi.

Przez **zmiennność klimatu** należy rozumieć odchylenia od stanu średniego odnoszące się do składników charakteryzujących klimat. Chodzi tu o wartości statystyczne, jak również sytuacje ekstremalne. Zmiennność klimatu może wynikać z wewnętrznych procesów zachodzących w atmosferze, a także z oddziaływań antropogenicznych.

Przez wiele lat podejmowane były intensywne działania mające na celu przeciwdziałanie zmianom klimatycznym. Okazało się, że są bardzo kosztowne i mogą przynieść efekty po długim czasie. Obecne działania skupiają się głównie na poznaniu i możliwości prognozowania zmian klimatycznych oraz na pracach zmierzających do zaadaptowania gospodarki i społeczeństwa do spodziewanych zmian oraz złagodzenia ich skutków. Projekt KLIMAT miał służyć głównie temu celowi.

Niniejsza monografia jest podsumowaniem wyników czteroletnich badań i analiz obejmujących cztery zadania projektu Klimat związane z zasobami wodnymi i szeroko pojętą gospodarką wodną. Jednym z podstawowych aspektów jest problem wpływu zarówno zmian klimatu, jak i jego zmienności na różne procesy obejmujące gospodarkę wodną.

Te cztery zadania to:

- Zadanie 3. Zrównoważone gospodarowanie wodą, zasobami geologicznymi i leśnymi kraju.
- Zadanie 7. Zagrożenia i uwarunkowania oraz możliwości realizacji krajowego zaopatrzenia w wodę ludności w świetle przepisów Unii Europejskiej.
- Zadanie 8. Przeciwdziałanie degradacji polskich zbiorników retencyjnych.
- Zadanie 9. Perspektywiczne zagospodarowanie dorzecza Wisły wraz z systemem ocen wpływu inwestycji hydrotechnicznych na środowisko.

Zadania 3, 7 i 8 dotyczyły całego obszaru naszego kraju, podczas gdy zadanie 9 skupiało się wyłącznie na dorzeczu Wisły obejmującym rzekę i jej dopływy, jak również cały obszar dorzecza, stanowiący 54% powierzchni Polski.

Monografię ujęto w czterech częściach, dotyczących wyżej wymienionych czterech zadań projektu Klimat. Każda stanowi odrębną całość, opracowaną przez zespół autorski pod redakcją koordynatora zadania. Rozpoczyna się wprowadzeniem, w którym podano ogólne informacje dotyczące wykonanych badań, cel i zakres pracy w danym zadaniu. W dalszej części przedstawiono zastosowane metody badawcze oraz uzyskane wyniki z możliwością ich wykorzystania dziś oraz w przyszłości do innych, podobnych zagadnień. Każda część kończy się podsumowaniem oraz spisem literatury.

Tytuły poszczególnych części zostały sformułowane nieco odmiennie niż tytuły zadań realizowanych w projekcie KLIMAT, głównie pod kątem najważniejszych rezultatów. Są następujące.

- Część I pod redakcją T. Walczykiewicza – Zarządzanie zasobami wodnymi w Polsce w świetle zmian klimatu.
- Część II pod redakcją L. Gutowskiej-Siwiec – Wpływ zmian klimatycznych na jakość zasobów wodnych wykorzystywanych do zaopatrzenia ludności w wodę
- Część III pod redakcją E. Sieńskiego – Zamulenie polskich zbiorników retencyjnych. Diagnostyka stanu i proponowane przeciwdziałania.
- Część IV pod redakcją W. Majewskiego – Obecne zagospodarowanie Wisły i jej dorzecza oraz proponowane zmiany w świetle prognozowanych zmian klimatycznych.

Każda część kończy się podsumowaniem obejmującym najważniejsze wnioski z rozdziałów.

## **CZĘŚĆ I.**

# **ZARZĄDZANIE ZASOBAMI WODNYMI W POLSCE W ŚWIETLE ZMIAN KLIMATU**



# Wprowadzenie

*Maciej Maciejewski, Tomasz Walczykiewicz*

## 1. Charakterystyka zadania

Celem zadania 3. projektu KLIMAT, o tytule *Zrównoważone gospodarowanie wodą, zasobami geologicznymi i leśnymi kraju*, było opracowanie podstaw strategii gospodarowania zasobami naturalnymi, opartej na zasadzie zrównoważonego rozwoju oraz uwzględniającej zagrożenia i presje wynikające z potencjalnych zmian klimatu oraz prognozowanego rozwoju społeczno-gospodarczego. Zgodnie z przyjętymi założeniami wyniki powinny dać przesłanki do sformułowania wskazówek umożliwiających wprowadzenie do dzisiejszych planów mechanizmów adaptacyjnych do spodziewanych zmian. W odniesieniu do gospodarowania wodą, celem zadania było wypracowanie strategii Zintegrowanego Zarządzania Zasobami Wodnymi z uwzględnieniem zmian klimatu, przy założeniu, że szczegółowe cele środowiskowe są zdefiniowane przez Ramową Dyrektywę Wodną 2000/60/WE. Osiągnięcie tego celu wymagało oceny stanu obecnych i przyszłych zasobów wodnych oraz określenia potrzeb w zakresie ich użytkowania. Na tej podstawie możliwa była analiza presji i ograniczeń środowiskowych, ekonomicznych i społecznych. Powyższe analizy stworzyły bazę do opracowania strategicznych wskazówek dla procesu planowania i wniosków odnośnie do możliwości spełnienia wymagań Ramowej Dyrektywy Wodnej w kontekście prognozowanych zmian klimatu. Zadanie pozwoliło na opracowanie zasad, przygotowanie modeli i struktur zrównoważonego gospodarowania zasobami wodnymi Polski, wraz z oceną wpływu korzystania z tych zasobów na środowisko oraz na poziom i jakość życia społeczeństwa. W niniejszym rozdziale podsumowano wyniki badań i przedstawiono podstawowe wnioski i kierunki wykorzystania prac w przyszłości.

Podstawowym zasobem środowiska jest woda, stąd zasady gospodarowania nią są szczególnie istotne. Rezultatem prac międzynarodowej społeczności specjalistów i polityków w tym zakresie jest idea Zintegrowanego Zarządzania Zasobami Wodnymi. ZZZW to (według Global Water Partnership) strategia, która promuje skoordynowane zarządzanie zasobami wodnymi, lądowymi i zasobami związanymi, w celu osiągnięcia maksymalnych korzyści ekonomicznych i społecznych bez uszczerbku dla równowagi kluczowych ekosystemów. W nawiązaniu do tych zasad, w ramach projektu zrealizowano szereg zadań cząstkowych (podzadań). Ich

zakres i kompozycja są wynikiem zapisów zawartych w studium wykonalności przygotowanym dla projektu KLIMAT. Do zadań tych należy:

- 3.1. Opracowanie struktury bazy danych o zasobach wodnych w układzie zlewniowym, umożliwiającym ich kompozycję do dowolnego układu administracyjnego w odniesieniu do wód powierzchniowych, podziemnych, termalnych i leczniczych, spełniające w zakresie zawartości wymagania merytoryczne polityki wodnej Unii Europejskiej i dyrektyw z nią związanych.
- 3.2. Aplikacja modeli bilansowania zasobów wód dla scalonych części wód powierzchniowych uwzględniająca prognozy zmian zużycia wody przez ludność i gospodarkę.
- 3.3. Opracowanie oceny potrzeb wodnych z uwzględnieniem wariantowych prognoz zmian klimatu.
- 3.4. Opracowanie prognozy potrzeb wodnych dla wydzielonych systemów wodnogospodarczych na obszarze kraju w powiązaniu z oceną skutków ekonomicznych i społecznych okresowych niedoborów wody zgodnie z wymogami Dyrektywy Unii Europejskiej.
- 3.5. Określenie obszarów, w których wykorzystywanie zasobów wodnych powinno być podporządkowane zachowaniu walorów środowiskowych i rekreacyjnych, uwzględniając w uzasadnionych przypadkach, możliwości renaturyzacji lub rekultywacji rzek.
- 3.6. Opracowanie strategii ochrony zasobów wód powierzchniowych i podziemnych dla zaspokojenia podstawowych potrzeb wodnych ludności, rolnictwa i przemysłu, z uwzględnieniem planowanego rozwoju społeczno-gospodarczego.
- 3.7. Opracowanie modelu zarządzania gospodarką wodną w zlewniach rolniczych
- 3.8. Wskazanie zlewni szczególnie zagrożonych (presje i oddziaływania) deficytem wody oraz opracowanie dla nich zasad polityki gospodarowania w drodze analizy wariantowych bilansów wodnogospodarczych.
- 3.9. Analizy utrzymania, eksploatacji i finansowania przedsięwzięć gospodarki wodnej.
- 3.10. Opracowanie modelu procesu negocjacji i doskonalenie technik negocjacyjnych w procesie planowania w gospodarowaniu wodami oraz w planowaniu i realizacji inwestycji wodnych.
- 3.11. Opracowanie katalogu wzorcowych działań dla silnie zmienionych części wód w celu osiągnięcia dobrego potencjału.

Tak ukształtowana kompozycja zadań cząstkowych pozwoliła na przeprowadzenie analiz dotyczących wrażliwości gospodarki wodnej na zmiany klimatu oraz potrzeb gospodarki komunalnej, przemysłu, rolnictwa, a także środowiska wodnego.



Zarówno w zadaniu, jak i w całym projekcie wykorzystano wnioski dotyczące zmian klimatu, opracowane w oparciu na scenariuszach wzrostu emisji gazów cieplarnianych. Scenariusze te są definiowane na podstawie scenariuszy rozwojowych dla świata, w których próbuje się prognozować możliwe ścieżki rozwojowe. Międzyrządowy Panel ds. Zmian Klimatu (IPCC) opracował *Special Report of Emission Scenarios (SRES)*, zawierający zestaw scenariuszy rozwojowych będących podstawą dalszych prac dotyczących zmian klimatu. Podstawowe założenia dotyczą odpowiedzi na pytania [Global... 2007]:

- Czy świat będzie rozwijał się głównie w oparciu na kryteriach ekonomicznych (grupa A), czy też nastąpi odejście od postaw konsumpcyjnych na rzecz zrównoważonego rozwoju (grupa B)?
- Czy świat będzie się rozwijał globalnie (grupa 1) i nastąpi zatarcie różnic między krajami bogatymi i biednymi, czy też będziemy mieli do czynienia z rozwojem regionalnym (grupa 2)?

Są to cztery grupy scenariuszy: A1, A2, B1 i B2. Ponadto w A1 wydzielono trzy podgrupy ze względu na dominujące źródła energii: A1T (rozwój elektrowni słonecznych i nuklearnych, ogniwa paliwowe etc.), A1FI (rozwój w oparciu na paliwach kopalnych) i A1B (zrównoważone wykorzystanie różnych źródeł energii).

W ramach prac w zadaniu, w zależności od przyjętych w projekcie scenariuszy, dokonano wariantowych analiz zmian w zasobach wodnych. Kolejnym etapem była analiza zmian w potrzebach wodnych w gospodarce komunalnej, rolnictwie oraz wybranych sektorach produkcji przemysłowej. Rozpatrzono również wpływ zmian klimatu na stan środowiska wodnego i ekosystemów od wód zależnych. Dla wybranych obszarów pilotowych wdrożono modele dla perspektywicznego bilansowania wodnogospodarczego. Przykładowe wdrożenia, uwzględniające zmiany w zasobach i potrzebach wodnych, mogą być szerzej wykorzystane w przyszłości.

Analizy przeprowadzone w zadaniu są istotne ze względu na ZZZW. Polega ono bowiem na związku dwóch komplementarnych grup działań. Pierwsza grupa jest ukierunkowana na rozwój zasobów wodnych (ich wykorzystywanie i przetwarzanie) dla zapewnienia wzrostu gospodarczego, natomiast druga grupa działań dotyczy zarządzania zasobami (ochroną, odbudową) przy zapewnieniu równowagi środowiskowej. Obydwie grupy muszą być realizowane z udziałem użytkowników, społeczeństwa dla zapewnienia właściwej równowagi. Jest to podstawowy warunek w ZZZW.

Obecnie w badaniach i praktyce jest rozwijana koncepcja, uwzględniająca m.in. warunki lokalne i zmiany klimatyczne, która zamierza w kierunku tzw. adaptacyjnego zarządzania zasobami wodnymi. Jest ono określane jako systematyczny proces doskonalenia zarządzania przez analizę efektów wdrożonych strategii wodnych, z uwzględnieniem niepewności związanych z prognozami. W konsekwencji w ramach zadania opracowano również wnioski dla koncepcji wdrożenia adaptacyjnego zarządzania zasobami wodnymi w Polsce, które mogą być wykorzystane w pracach o charakterze strategicznym i w politykach sektorowych.

## **2. Uwarunkowania realizacji zadania w kontekście polityki wodnej Unii Europejskiej**

Polityka wodna w Unii Europejskiej jest kształtowana przez szereg aktów prawnych, przyjętych i modyfikowanych w ciągu ostatnich 30 lat. Od 2000 r. podjęto wiele inicjatyw mających na celu uporządkowanie i hierarchizację systemu prawnego aby uczynić go bardziej czytelnym i łatwiejszym w egzekwowaniu zobowiązań nakładanych na kraje członkowskie UE. W rezultacie w polityce wodnej UE, opartej na zarządzaniu w dorzeczeniach hydrograficznych, można wyróżnić następujące główne akty prawne:

Dyrektywę 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiającą ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, zwaną Ramową Dyrektywą Wodną.

Dyrektywę 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu.

Dyrektywę 2008/56/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 czerwca 2008 r. ustanawiającą ramy działań Wspólnoty w dziedzinie polityki środowiska morskiego, zwaną dyrektywą morską.

Dyrektywę 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, zwaną dyrektywą powodziową.

Podstawowym aktem jest wspomniana na wstępie Ramowa Dyrektywa Wodna, której główne cele to:

- objęcie ochroną śródlądowych i przybrzeżnych wód powierzchniowych oraz wód podziemnych;
- osiągnięcie dobrego stanu wód do roku 2015.

Komisja Europejska, zwracając uwagę na potrzebę zrównoważonej gospodarki wodnej na terenie Unii Europejskiej podkreśla w swoich dokumentach dwa problemy – nadmiar wody i jej niedobór. Nadmiar, przejawiający się w występujących powodziach, może być przyczyną utraty życia i zdrowia ludzi i poważnych szkód w gospodarce i środowisku. Niedobór wody również powoduje negatywne skutki, czego przykładem mogą być coraz częściej występujące susze. Według prognoz dotyczących skutków zmian klimatycznych, jest spodziewane nasilenie się częstotliwości i skali tego typu zjawisk. Celem polityki wodnej Unii Europejskiej jest zachowanie trwałej równowagi między wymienionymi dwoma podstawowymi problemami. Jego osiągnięcie powinno być wspomagane wymienionymi wcześniej głównymi aktami prawnymi. Komisja Europejska zachęca do pełnego wykorzystania możliwości uwzględnienia zmian klimatycznych w planach gospodarowania wodami w dorzeczeniach i do dalszego włączania – tej kwestii, strategii przystosowawczych i łagodzących – do unijnej polityki wodnej. W wszystkich dokumentach stwierdza się, że Europa posiada odpowiednie zasoby ludzkie, możliwości techniczne i zasoby finansowe, aby podołać wyzwaniom. Należy jednak podkre-

ślić, że pogłębiający się w 2011 r. kryzys ekonomiczny i finansowy może te możliwości ograniczyć.

Przyjmuje się, że konieczne jest podjęcie działań adaptacyjnych na odpowiednich poziomach administracyjnych w zależności od charakteru zagrożenia. Wiele przypadków może wymagać ścisłej koordynacji i włączenia państwowych, regionalnych i lokalnych władz. W związku z powyższym proponuje się m.in.:

dla poziomu państwowego:

- poprawę zarządzania kryzysowego w zakresie gospodarowania wodami,
- rozwój strategii adaptacyjnych uwzględniających m.in. zmienność zasobów wodnych,

dla poziomu regionalnego:

- planowanie na szczeblu regionalnym uwzględniające potrzeby gospodarki wodnej,
- rozwój i doskonalenie dobrych praktyk i wytycznych,

dla poziomu lokalnego:

- szczegółowe rozwiązania w zakresie zagospodarowania przestrzennego,
- ograniczanie zużycia wody wraz ze stosowaniem nowych rozwiązań technologicznych.

Priorytetową kwestią jest osiągnięcie postępów w tej sprawie, w celu pełnego wdrożenia Ramowej Dyrektywy Wodnej. Problemem w skali całej Europy jest nieskuteczna polityka w zakresie cen wody, która nie odzwierciedla stopnia wrażliwości zasobów wodnych na oddziaływania o charakterze antropogenicznym. Planowanie przestrzenne jest również jednym z głównych czynników wpływających na zużycie wody. W analizach prowadzonych przez Komisję Europejską podkreśla się, że w Europie wciąż marnuje się co najmniej 20% wody z powodu niewłaściwego gospodarowania jej zasobami. W konsekwencji konieczne jest dalsze włączanie problematyki wody i jej zasobów do polityk sektorowych.

Zakłada się, że osiągnięcie odpowiednich wyników w tym zakresie będzie możliwe m.in. dzięki:

- badaniom klimatu i rozszerzeniu bazy badawczej nad jego wpływem na gospodarkę wodną,
- rozwojowi metodyk służących ocenom wpływu zmian klimatu na gospodarkę i analizom wrażliwości na straty,
- poprawie prognoz oddziaływań poszczególnych sektorów gospodarki w Europie na zmiany klimatu, i w konsekwencji gospodarowanie wodami,
- współpracy z sektorem prywatnym w zakresie wdrażania nowych technologii,
- wsparciu działań praktycznych i ułatwieniu przepływu wiedzy.

W podsumowaniu warto więc podkreślić, że zrealizowane zadanie wpisuje się w kontekst polityki wodnej Unii Europejskiej.

## **Metodyka prac przyjęta w zadaniu**

*Paweł Madej, Tomasz Walczykiewicz*

### **1. Założenia odnośnie do otoczenia gospodarki wodnej**

Prognozy zmian klimatu są opracowywane na podstawie scenariuszy wzrostu emisji gazów cieplarnianych. Są one definiowane na podstawie scenariuszy rozwojowych dla świata, w których próbuje się przewidywać możliwe ścieżki rozwojowe. Jako podstawę rozważań przyjęto trzy spośród opracowanych przez IPCC scenariuszy rozwojowych o kodowych nazwach przyjętych w *Special Report Emission Scenarios: A1B, A2 i B1* [IPCC Special... 2000]. Bliższe informacje na temat przyjętych scenariuszy znajdują się wymienionym raporcie. Poniżej zamieszczono ich krótką charakterystykę.

Wariant A1B (wysoki wzrost gospodarczy – globalnie). Zakłada bardzo szybki wzrost gospodarczy. Populacja rośnie do roku 2050, a następnie się zmniejsza. Szybko są wdrażane nowe i efektywne (szczególnie woda i energooszczędne) technologie. Współpraca gospodarcza i migracja ludności powodują wyrównywanie poziomu cywilizacyjnego i poziomu dochodów między regionami świata. Wariant ten zakłada zrównoważony układ systemów energetycznych powstały w wyniku równomiernego rozwoju wszystkich form wytwarzania energii

Wariant A2 (rozwój gospodarczy – regionalnie). Zakłada rozwój w oparciu na kryteriach ekonomicznych – zwiększenie różnic między biednymi i bogatymi krajami, szybki wzrost ludności, szczególnie w krajach rozwijających się, brak zaangażowania w kwestiach ekologicznych i najslabszy postęp technologiczny w porównaniu do innych scenariuszy. Brak rozwoju w dziedzinie alternatywnych źródeł energii, węgiel pozostaje podstawowym źródłem.

Wariant B1 (rozwój zrównoważony – globalnie). Zakłada wysoki poziom świadomości ekologicznej i społecznej, odejście od postaw konsumpcyjnych, czyisto ekonomicznych, na rzecz zrównoważonego rozwoju. Rządy, biznes, media i ludzie przywiązują do tego dużą wagę. Świadomie i intensywnie inwestuje się w technologie, efektywność, ekologię. Rozwój ukierunkowany na globalne rozwiązania problemów zrównoważonego rozwoju.

Założenia odnośnie do zmian klimatu dla powyższych wariantów rozwojowych przyjęto w oparciu na rezultatach downscalingu dynamicznego i statystycz-

nego dla obszaru Polski, wynikach globalnych modeli klimatycznych symulujących zmiany klimatu dla rozpatrywanych scenariuszy.

Warianty rozwojowe są też podstawą oszacowania przyszłych potrzeb wodnych dla Polski oraz ewentualnych utrudnień w realizacji zasad zrównoważonego rozwoju. Zostały uszczegółowione, tzn. przeprowadzono ich interpretację i dostosowano do warunków polskich. Ponadto dokonano interpretacji tych wariantów w kategoriach wpływu na potrzeby wodne.

## **2. Sposób realizacji zadania**

Przyjęta metodyka łączy w sobie podejścia *top-down* i *bottom-up*. Zadanie realizowano w oparciu na następujących działaniach:

- dokonywano uproszczonych analiz dla całego kraju i na ich podstawie określano problemy oraz obszary, na których one występują,
- dla zdiagnozowanych w ten sposób problemów wybierano zlewnie reprezentatywne, w których wykonano szczegółowe analizy,
- na podstawie generalizacji wyników analiz szczegółowych i ich syntezy z analizami uproszczonymi uzupełniano diagnozę problemów,
- w analogiczny sposób wypracowywano propozycje rozwiązania, dokonując syntezy obu podejść –w skali całego kraju i zlewni pilotowych,
- w oparciu na wymienionych propozycjach określono strategiczne kierunki działania i wskazówki dla planistów z obszaru gospodarki wodnej i planowania przestrzennego oraz zalecenia odnośnie do możliwości wykorzystania w pracach planistycznych narzędzi modelowania użytych w zadaniu.

Diagnozę problemów w skali całego kraju prowadzono na podstawie analiz wskaźnikowych. W zlewniach reprezentatywnych oparto je na modelowaniu. Analizy szczegółowe dotyczyły reprezentatywnych zlewni zagrożonych deficytem wody, gdzie wykorzystano modele Mike SHE, Mike Basin, MODSIM oraz zlewni rolniczej gdzie wykorzystano model SWAT, umożliwiający modelowanie reakcji zlewni na modyfikacje jej użytkowania. Zlewnie problemowe wybrano w oparciu na metodach taksonomicznych.

## **3. Identyfikacja obecnych i przyszłych zasobów wodnych**

Obecne zasoby wodne oceniono na podstawie danych (opady, przepływy) pochodzących z opracowania pomiarów prowadzonych w ramach Państwowej Służby Hydrologiczno Meteorologicznej. Okresem referencyjnym, charakteryzującym obecne zasoby, było wielolecie 1951–2010 oraz m.in. dla szacowania zmian zasobów w wyniku zmian klimatu, 20-lecie 1971–90. Zasoby wodne określono w postaci charakterystyk statystycznych przepływów w przekrojach pomiarowych oraz wskaźników obszarowych (moduł odpływu). Oszacowanie przyszłych zasobów oparto na uszczegółowionych dla Polski rezultatach symulacji zmian klimatu, tj. na

wynikach regionalnego modelu klimatycznego i modeli statystycznych uzyskanych w zadaniu 1 Projektu.

#### **4. Identyfikacja obecnych i przyszłych potrzeb wodnych**

Obecne potrzeby wodne określono w oparciu na danych GUS-u dotyczących użytkowania wody. Prognoza potrzeb wodnych wymagała uszczegółowienia dla Polski bazowych scenariuszy rozwojowych odnośnie do zmian w wielkości populacji i produkcji w poszczególnych sektorach gospodarki. Te oszacowania te uzupełniono o prognozę możliwych zmian jednostkowych wskaźników potrzeb wodnych. Na tej podstawie, wykorzystując dane o obecnym użytkowaniu wody, wnioskowano o przyszłych potrzebach wodnych. Prognozy przygotowano wariantowo, przy czym dla wariantów wynikających ze scenariuszy rozwojowych przygotowano je w postaci przedziałów, obrazujących możliwy zakres zmian zapotrzebowania na wodę. Górnym ograniczeniem przedziałów są potrzeby przy założeniu obecnego poziomu jednostkowych wskaźników potrzeb wodnych, a dolnym – potrzeby oszacowane na podstawie wskaźników wyznaczonych w oparciu na założeniu maksymalnego wykorzystania możliwości ograniczenia jednostkowego zużycia wody w danym wariantcie rozwojowym (wskaźniki różne dla poszczególnych wariantów ze względu na różnice w podejściu do środowiska). Przedziały te obrazują możliwości adaptacyjne ograniczenia wzrostu zużycia wody przez społeczeństwo i gospodarkę. Pośrednio określają również minimalny niezbędny poziom ingerencji w środowisko (zwiększenie poborów, budowa zbiorników etc.) dla zapewnienia możliwości realizacji danego scenariusza rozwojowego.

#### **5. Analiza presji oraz ograniczeń środowiskowych, ekonomicznych i społecznych**

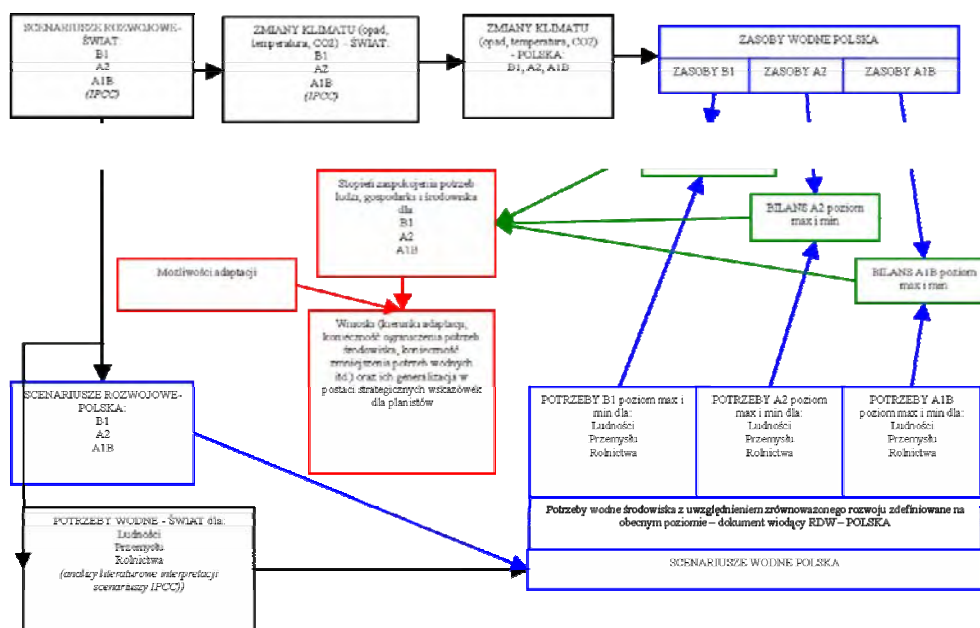
Podstawą oceny presji gospodarki na zasoby wodne jest porównanie zasobów z potrzebami, czyli bilans wodnogospodarczy. Założono wykonanie uproszczonych analiz wskaźnikowych dla całego kraju oraz bardziej szczegółowych dla zlewni reprezentatywnych i pewnych rodzajów użytkowania (zlewnia rolnicza, obszar zurbanizowany, obszary o chronionych walorach środowiskowych i rekreacyjnych). Analizy przeprowadzono dla stanu obecnego i perspektywy 2030 r. w oparciu na danych zgromadzonych w ramach identyfikacji obecnych i przyszłych zasobów wodnych i użytkowania wody. W analizach wskaźnikowych wzięto pod uwagę ograniczenia wynikające z istnienia obszarów szczególnej ochrony (np. Natura 2000, ostoje Ramsar, parki narodowe, rezerваты biosfery). Obszary te również poddano analizie typologicznej w kontekście możliwych zmian klimatu, w celu opracowania sugestii dotyczących możliwych zagrożeń ekosystemów wodnych na tych terenach, związanych z użytkowaniem zasobów wodnych lub wymagań odnośnie do ich ochrony.

Analizy bilansowe pozwoliły na diagnozę potencjalnych zagrożeń spełnienia potrzeb wodnych. Uzupełnione je przeprowadzonymi w ograniczonym zakresie

(wybrane zlewnie) analizami ekonomicznymi, związanymi z obecnym i prognozowanym zaopatrzeniem w wodę. Celem było wypracowanie wskazówek dla dalszych analiz ekonomicznych dla kształtowania propozycji modelu finansowania gospodarki wodnej w Polsce. Ostatnim elementem była analiza potencjalnych konfliktów społecznych, ukierunkowana na diagnozę konfliktów w kontekście obecnej praktyki planowania.

## 6. Opracowanie elementów strategii i wskazówek dla procesu planowania

Cele strategii realizowanej w ramach zadania są związane z wdrażaniem Ramowej Dyrektywy Wodnej. Co prawda RDW nie zawiera sugestii, że należy uwzględnić wpływ zmian klimatu w planach gospodarowania wodami w dorzeczach, jednak obecnie uważa się, że w następnym etapie planowania ich uwzględnienie jest konieczne. Projekt KLIMAT jest dobrą okazją do przetestowania metodyki wsparcia budowania planów gospodarki wodnej oraz wypracowania wskazówek dla zespołów opracowujących plany gospodarowania wodami w dorzeczach w tym zakresie.



Rys. 1. Sposób realizacji zadania 3

Przyjęto, że podstawą dla sugestii odnośnie do strategicznych kierunków działań w gospodarce wodnej w Polsce, w kontekście zmian klimatu, będą wymienione wyżej analizy presji środowiskowych, ekonomicznych i społecznych, wynikających z potrzeb wodnych, a także możliwości ich zaspokojenia. W oparciu na nich przygotowano diagnozę potencjalnych zagrożeń dla rozwoju społeczno-

gospodarczego oraz zagrożeń dla środowiska wodnego i z wodą związanego. Sugestie dotyczące działań łagodzących zagrożenia odwołują się przede wszystkim do instrumentów ekonomicznych, metod udziału interesariuszy w planowaniu, unikania konfliktów i zarządzania nimi. Dla terenów wymagających szczególnej ochrony zostaną wypracowane zalecenia dotyczące działań zachowawczych i odtwarzających (m.in. rewitalizacje), a także opracowano kryteria ograniczeń użytkowania zasobów wodnych wynikających z konieczności zachowania walorów środowiskowych i rekreacyjnych rozpatrywanych obszarów.

Realizując to zamierzenie założono, że strategia powinna zawierać wskazówki dla instytucji na różnych poziomach administracji i mających różne kompetencje (administracja centralna, regionalna, lokalna – samorządowa); organizacji pozarządowych, zwykłych ludzi) oraz podobne informacje dotyczące metod wdrażania działań adaptacyjnych.



## Scenariusze rozwoju społeczno-gospodarczego i scenariusze wodne

*Roman Konieczny, Paweł Madej, Małgorzata Siudak, Tomasz Walczykiewicz, Renata Bogdańska-Warmuz*

### 1. Scenariusze rozwoju społeczno-gospodarczego

Uszczegółowienie dla Polski wybranych w Projekcie scenariuszy IPCC jest elementem procesu opracowania wariantowej wizji przyszłości gospodarki wodnej w kraju (scenariuszy rozwoju gospodarki wodnej – scenariuszy wodnych).

Trzy scenariusze IPCC zostały zinterpretowane dla Polski w IMGW-PIB, dla 2030 r., w oparciu na opisach scenariuszy dla świata oraz danych historycznych i wizjach przyszłości wybranych z różnych dokumentów strategicznych, opracowanych dla Polski. Wariantowy opis kształtowania się poszczególnych czynników sprawczych dla Polski miał, w założeniu, być zgodny z logiką scenariuszy IPCC oraz uwzględniać polską specyfikę. Scenariusze opisano w odniesieniu do 10

A1B RYNKOWY	A2 REGIONALNY	B1 ZRÓWNOWAŻONY
wysoki wzrost gospodarczy – globalnie	rozwój gospodarczy – regionalnie	rozwój zrównoważony – globalnie
1. Wzrost gospodarczy		
Następuje szybki wzrost gospodarczy oparty na rozwoju struktur ekonomicznych, eksportu i nowych technologii. Słabe priorytety ekologiczne. Tempo wzrostu PKB ~5%.	Wolny wzrost gospodarczy bazujący na dotychczasowych strukturach ekonomicznych. Ograniczone środki na realizację celów ekologicznych. Tempo wzrostu PKB ~3%.	Następuje średni wzrost gospodarczy. Zachodzą zmiany w strukturach ekonomicznych. Silne priorytety ekologiczne, świadomie i intensywnie inwestuje się w technologie proekologiczne. Tempo wzrostu PKB ok. 3-5%.
2. Różnice w poziomie bogactwa		
Następuje stopniowe wyrównywanie poziomu bogactwa, w tym dochodów, między bogatymi a biednymi regionami Polski. Przyczyniają się do tego – proces globalizacji oraz współpraca gospodarcza.	Istniejące dysproporcje w poziomie bogactwa między bogatymi a biednymi regionami Polski utrzymują się.	Istniejące dysproporcje w poziomie bogactwa między bogatymi a biednymi regionami Polski zmniejszają się nieco wolniej niż w scenariuszu A1B. Globalizacja oraz postawy solidarnościowe przyczyniają się do redystrybucji bogactwa w społeczeństwie.

A1B RYNKOWY	A2 REGIONALNY	B1 ZRÓWNOWAŻONY
wysoki wzrost gospodarczy – globalnie	rozwój gospodarczy – regionalnie	rozwój zrównoważony – globalnie
3. Rozwój społeczny		
Polska przybliży się w zakresie rozwoju społecznego do poziomu krajów Europy Zachodniej. Zaufanie do władzy i ekspertów rośnie zmierzając w kierunku ograniczonego zaufania. Interakcje są w znacznej mierze oparte na kontaktach biznesowych. Aktywność samorządów i mieszkańców wzrasta. Kapitał społeczny jest na średnim poziomie.	Polska pozostaje na obecnym poziomie rozwoju społecznego. Zaufanie do władzy i ekspertów utrzymuje się na obecnym, niskim poziomie. Samorządy i mieszkańcy są aktywni głównie w obliczu zagrożenia. Poziom więzi społecznych i kapitał społeczny w przekroju całego społeczeństwa jest niski. Tworzą się różne grupy interesu walczące o swoje sprawy.	Polska przybliży się w zakresie rozwoju społecznego do poziomu krajów Europy Zachodniej. Zaufanie do władzy i ekspertów w Polsce podobnie, jak w całej Europie wzrasta. Aktywność samorządów i mieszkańców wzrasta. Wzmacniają się więzi społeczne. Wzrasta praworządność. Budowany jest wysoki kapitał społeczny.
4. Rozwój w aspekcie ochrony środowiska		
Zrównoważony rozwój i polityka ochrony środowiska nie są dominującymi trendami w gospodarce. Nakłady całkowite na ochronę środowiska wykazują tendencję wzrostową, trend średni (w tym nakłady z budżetu państwa zależne są od uwarunkowań ekonomicznych). Prośrodowiskowe regulacje prawne są niezbyt restrykcyjne i ukierunkowane na wykorzystanie instrumentów ekonomicznych. Edukacja ekologiczna na wysokim poziomie, natomiast świadomość ekologiczna społeczeństwa zróżnicowana w zależności od sytuacji materialnej.	Zahamowanie trendu zrównoważonego rozwoju i zdecydowane osłabienie polityki ochrony środowiska. Nakłady całkowite na ochronę środowiska (w tym z budżetu państwa) zbliżone do poziomu dzisiejszego z niewielką tendencją wzrostową. Prośrodowiskowe regulacje prawne nie są priorytetem w ogólnym rozwoju gospodarczym kraju. Edukacja ekologiczna na poziomie odpowiadającym dostępnym środkom, świadomość ekologiczna społeczeństwa umiarkowana i zróżnicowana w zależności od sytuacji materialnej.	Zrównoważony rozwój stanowi dominującą wizję polityki środowiskowej (w rozumieniu środowiska naturalnego). Nakłady całkowite na ochronę środowiska (w tym z budżetu Państwa) wysokie z silnym trendem wzrostowym. Prośrodowiskowe regulacje prawne ukierunkowane na zapewnienie rozwoju zrównoważonego. Edukacja ekologiczna oraz świadomość ekologiczna na wysokim poziomie. Poprawia się jakość życia.
5. Populacja		
Zmniejszanie się dystansu, jaki dzieli pod względem umieralności Polskę od krajów najbardziej rozwiniętych. Wzrost w zakresie oczekiwanej długości życia. Przyrost naturalny utrzymuje się na obecnym poziomie. Znaczne ograniczenie liczby emigrantów związane ze zwiększającą się atrakcyjnością i konkurencyjnością rynku polskiego. Wzrost liczby imigrantów. Do roku 2030 nastąpi spadek liczby ludności o około 2,5 % w porównaniu do 2009 r. (38 mln).	Brak poprawy pod względem umieralności oraz oczekiwanej długości życia. Spadek przyrostu naturalnego. Polityki migracyjne chroniące narodowe rynki pracy w dużym stopniu ograniczą migracje. Malejąca liczba osób wieku mobilnym (20–44 lata) powoduje spadek liczby emigrantów. Do roku 2030 nastąpi spadek liczby ludności o około 4 % w porównaniu do 2009 r. (38 mln).	Wzrost w zakresie oczekiwanej długości życia, spadek umieralności, zmniejszony trend spadkowy w przyroście naturalnym. Deregulacja migracji międzynarodowych powoduje zarówno wzrost emigracji do UE (ze względu na czynniki przyciągające ze strony międzynarodowych rynków pracy), jak i wzrost imigracji (z uwagi na migracje powrotne i zwiększającą się atrakcyjność polskiego rynku pracy). Do roku 2030 nastąpi spadek liczby ludności o ok. 4 % w porównaniu do 2009 r. (38 mln).
6. Rozwój technologiczny		
Polska przesuwa się na wyższe miejsce w grupie potencjalnych liderów, jeżeli chodzi o wskaźnik postępu technologicznego. Rozwój technologii prośrodowiskowych	Polska przesuwa się na niższe miejsce w grupie potencjalnych liderów, jeżeli chodzi o wskaźnik postępu technologicznego. Brak znaczącego i istotnego dla gospodarki rozwoju odnawialnych źródeł	Polska pozostaje na podobnym, co obecnie, miejscu w grupie potencjalnych liderów, jeżeli chodzi o wskaźnik postępu technologicznego. Rozwój technologii prośrodowiskowych stanowi priorytet

A1B RYNKOWY	A2 REGIONALNY	B1 ZRÓWNOWAŻONY
wysoki wzrost gospodarczy – globalnie	rozwój gospodarczy – regionalnie	rozwój zrównoważony – globalnie
zeterminowany przez kapitał, środki i gospodarkę, i uzależniony od standardów Unii Europejskiej.	energii oraz energooszczędnych i wodooszczędnych technologii, ze względu na brak kapitału, odpowiedniego zaplecza i woli zmian, choć członkostwo w Unii Europejskiej redukuje to zagrożenie (prawodawstwo, źródła finansowania).	(głównie w sektorach powodujących największe zanieczyszczenia), lecz jest uzależniony od stanu finansów państwa.
7. Rozwój rolnictwa		
Następuje intensyfikacja rolnictwa. Zmniejszenie ilości obszarów rolnych. Efektywność ekonomiczna stanowi kryterium wyboru rodzaju upraw na danym terenie, wprowadzane są najbardziej efektywne uprawy, dostosowane do lokalnych warunków. Poziom zanieczyszczeń rolniczych nie różni się w sposób istotny od dotychczasowego.	Struktura upraw rolnych zbliżona do obecnej. Spadek ilości obszarów rolnych. Niewielki spadek dużej liczby małych, nieefektywnych ekonomicznie gospodarstw rolnych skutkiem konsolidacji gospodarstw lub ich likwidacji. Nieznaczny wzrost poziomu zanieczyszczeń z obszarów rolniczych w porównaniu do stanu obecnego.	Nieznaczny spadek ilości obszarów rolnych, przy niewielkich zmianach w kierunku ekstensyfikacji i konsolidacji gospodarstw rolnych. Umiarkowany trend w kierunku produkcji żywności ekologicznej. Umiarkowany wzrost popytu na produkty ekologiczne. Dążenie do eliminacji zanieczyszczeń – trend raczej umiarkowany.
8. Rozwój leśnictwa		
Nieznaczne zwiększenie się powierzchni obszarów leśnych. Presja zachowania obszarów zielonych ze względu na turystykę.	Powierzchnia obszarów leśnych na obecnym poziomie.	Zwiększenie się powierzchni obszarów leśnych oraz obszarów chronionych.
9. Rozwój przemysłu i usług		
Rozwój przemysłu (trend średnio-wysoki) i w znacznie większym stopniu usług (trend wysoki), zgodnie z przewagą komparatywną regionów (rozwój przemysłów i usług, których koszty zasobowe są najniższe, a wartość dodana najwyższa). Lobbying przedsiębiorców w kierunku niepełnienia za gospodarcze korzystanie ze środowiska.	Rozwój przemysłu i usług (trend średni). Ograniczenie podaży ze strony światowych rynków motywuje do dostarczania wszystkich niezbędnych towarów dla zaspokojenia lokalnych potrzeb, w związku z tym, w regionie mogą się rozwijać różne branże przemysłowe, w zależności od lokalnych możliwości. Lobbying przedsiębiorców w kierunku niepełnienia za gospodarcze korzystanie ze środowiska.	Rozwój przemysłu (trend średni) i w znacznie większym stopniu usług (trend wysoki), zgodnie z przewagą komparatywną regionów (rozwój przemysłów i usług, których koszty zasobowe są najniższe, a wartość dodana najwyższa). Mniejsze znaczenie przemysłu wydobywczego i przemysłu ciężkiego. Dodatkowo silny trend w kierunku internalizacji kosztów zewnętrznych (płacenia za gospodarcze korzystanie ze środowiska).
10. Rozwój gospodarki energetycznej		
Dywersyfikacja źródeł pozyskiwania energii, m.in. rozwój energetyki jądrowej. Energia pozyskiwana ze źródeł najbardziej efektywnych.	Powolny postęp w dziedzinie alternatywnych źródeł energii (odnawialne źródła energii, energetyka jądrowa).	Stopniowe zmiany w strukturze źródeł energii, wynikające z wprowadzania czystych i efektywnych technologii (odnawialne źródła energii, energetyka jądrowa).

czynników sprawczych, takich jak: wzrost gospodarczy (PKB), różnice w poziomie bogactwa, rozwój społeczny, rozwój w aspekcie ochrony środowiska, populacja, rozwój technologiczny, rozwój rolnictwa, leśnictwa, przemysłu i usług oraz gospodarki energetycznej.

Opracowane w ten sposób opisy przedstawiono ekspertom do oceny. Opinie i komentarze ekspertów wykorzystano potem do modyfikacji opisów scenariuszy. Ponadto, na ich podstawie przygotowano materiał do dyskusji w grupach warsztatowych, w której wzięła udział część uprzednio ankietowanych ekspertów. Efekty prac w grupach stały się kolejnym materiałem wykorzystanym do modyfikacji opisów scenariuszy. W rezultacie powstała, zamieszczona niżej, wersja opisu trzech scenariuszy rozwojowych dla Polski dla 2030 r.

## **2. Scenariusze rozwoju gospodarki wodnej (scenariusze wodne)**

Scenariusze rozwoju gospodarki wodnej w Polsce zostały opracowane w IMGW-PIB. Przy ich konstruowaniu, podobnie jak dla scenariuszy rozwoju społeczno-gospodarczego, wykorzystano rezultaty badania ankietowego, dyskusji z ekspertami<sup>1</sup> oraz analizy literaturowe w tym m.in. [Kundzewicz, Kowalczak 2008], [Plan... 2004], [Ekspercki... 2008], [Nachlik 2008], [Okruszko, Kijańska 2009], [Polityka... 2009], [Prognoza... 2009]. W trakcie badania eksperci ze środowisk akademickich, instytutów badawczych i administracji wodnej odpowiadali na 12 pytań, dotyczących polityki wodnej w Polsce, narzędzi jej realizacji i przewidywanego stanu gospodarki wodnej w przyszłości. Analizowano m.in. podejście do implementacji zasad Zintegrowanego Zarządzania Zasobami Wodnymi (ZZZW), do których zalicza się:

- integralne podejście do wód powierzchniowych, podziemnych i ekosystemów zależnych od wód;
- uwzględnianie granic zlewni w planowaniu i zarządzaniu zasobami wodnymi;
- partycypację użytkowników, instytucji branżowych i społeczeństwa w procesie zarządzania zasobami wodnymi;
- wdrożenie reguł ekonomicznych w gospodarce wodnej opartych na zasadzie zwrotu kosztów usług wodnych i zasadzie *zanieczyszczający płaci*;
- traktowanie wody jako podstawowego czynnika kształtującego funkcjonowanie ekosystemów.

Wyniki badania ankietowego ujawniły duże rozbieżności w ocenach ekspertów. Również w dyskusjach warsztatowych grup ekspertów sygnalizowano dużą niepewność ocen kierunków i skali zmian w gospodarce wodnej warunkowanych hipotezami dotyczącymi otoczenia społeczno-gospodarczego. W efekcie zamieszczone poniżej scenariusze rozwoju gospodarki wodnej w Polsce tylko częściowo oddają zdanie ekspertów. Część zagadnień, dla których rozbieżność stanowisk ekspertów była zbyt duża, została zinterpretowana przez zespół z IMGW na pod-

---

<sup>1</sup> W części dyskusji w grupach warsztatowych przyjęto dalszą perspektywę czasową niż w opisywanych tu scenariuszach.

stawie analiz literaturowych i własnych ocen. Dotyczyły one zwłaszcza sugestii zmian zapotrzebowania na wodę w poszczególnych sektorach gospodarki.

Scenariusze rozwoju gospodarki wodnej opisano w rozbiciu na 6 obszarów tematycznych, definiujących następujące kwestie:

- Podstawy polityki wodnej w Polsce;
- Ranga polityki wodnej w Polsce i waga poszczególnych zadań gospodarki wodnej;
- Podejście do zagrożeń powodzią i suszą;
- Instrumenty zarządzania;
- Zapotrzebowanie na wodę;
- Stan wód – stan środowiska wodnego.

## **2.1. Wizja rozwoju gospodarki wodnej dla scenariusza A1B (scenariusz rynkowy – wysoki wzrost gospodarczy – globalnie)**

### 2.1.1. Podstawy gospodarki wodnej w Polsce

#### Zarządzanie zasobami wodnymi

W tym scenariuszu polityka państwa za nadrzędny cel przyjmie rozwój gospodarczy. Najważniejszy będzie rachunek ekonomiczny, nietraktujący priorytetowo ochrony środowiska naturalnego. Konsekwencją będzie odrzucenie postulatu traktowania przyrody, w tym ekosystemów wodnych i od wody zależnych, jako równoprawnych z ludźmi użytkownikami wody. To podejście kłóci się też z zasadą uważania wody za podstawowy czynnik kształtujący funkcjonowanie ekosystemów. Woda i przyroda będą podlegać ochronie, a źródłem działań będą bieżące potrzeby człowieka, np. dostęp do czystej wody, chęć kontaktu z naturą.

Idea uspołecznienia procesu zarządzania zasobami wodnymi nie będzie formalnie kontestowana, natomiast technokratyczne podejście do planowania spowoduje, że udział społeczeństw ograniczy się, przynajmniej w bliskiej perspektywie, do działań informacyjnych i konsultacji. Działania te będą traktowane bardziej jako wymóg formalny niż jako źródło informacji mogących mieć istotny wpływ na decyzje planistyczne. W dalszej perspektywie jest możliwa ewolucja w kierunku zwiększonego udziału obywateli i organizacji pozarządowych w procesie planowania w gospodarce wodnej.

Wdrożenie reguł ekonomicznych, oparte na zasadzie zwrotu kosztów wodnych, zostanie wprowadzone w zakresie niepowodującym wyraźnych, niekorzystnych skutków dla bieżącego rozwoju gospodarczego i tylko tam, gdzie nie będzie to kolidowało z nadrzędnością interesów człowieka w stosunku do natury. Takie podejście spowoduje, że ochrona przed powodzią, żegluga, rolnictwo i energetyka nie będą podlegać zasadzie zwrotu kosztów wodnych. W pozostałych dziedzinach natomiast będziemy zbliżać się do tej zasady.

Podsumowując, z pięciu ww. zasad Zintegrowanego Zarządzania Zasobami Wodnymi, jedynie podejście zlewniowe wydaje się powszechnie akceptowane i nie jest kontrowersyjne. Pozostałe zasady będą wdrożone w ograniczonym zakresie.

### Podejście do zagrożeń naturalnych

W Polsce panuje powszechne przekonanie, że za kwestie bezpieczeństwa obywateli są odpowiedzialne przede wszystkim, jeżeli nie wyłącznie, organy państwa. Wynika to zapewne z modelu państwa w przeszłości i dotychczasowej praktyki. W tej sytuacji światowe trendy, postulujące skupienie się na zarządzaniu ryzykiem, w tym na profilaktyce, nie są w Polsce łatwo akceptowane.

Zmiany w podejściu do zagrożeń naturalnych w kierunku akceptacji istnienia ryzyka i rozłożenia odpowiedzialności za bezpieczeństwo na wszystkie zainteresowane podmioty (również obywateli) będą zachodzić dość wolno. Główną przeszkodą jest niski poziom wiedzy i świadomości obywateli oraz stosunek środowiska zawodowego do nowych trendów. Stąd jedynym obszarem, w którym, ze względu na zakładany szybki wzrost gospodarczy, można się spodziewać istotnej poprawy, jest infrastruktura techniczna.

Charakterystyczną cechą scenariusza rynkowego jest swoboda podejmowania decyzji przez obywateli i przedsiębiorców, stąd nie będzie zbyt restrykcyjnych zakazów dotyczących osiedlania się i prowadzenia działalności gospodarczej na terenach zagrożonych. Celem rozwiązań prawnych będzie uregulowanie praw i obowiązków obywateli podejmujących ryzyko zamieszkania lub prowadzenia aktywności gospodarczej na terenach zagrożonych. Te rozwiązania to np. budowa systemu ubezpieczeń od katastrof naturalnych i wymóg ubezpieczania się mieszkańców terenów zagrożonych. Innym przykładem może być pobieranie opłat za prognozy i ostrzeżenia ponadstandardowe. Prognozy takie stają się szczególnie ważne w sytuacji braku restrykcji dla zagospodarowania terenów zagrożonych. Przesunięcie części odpowiedzialności za bezpieczeństwo na podmioty zagrożone nie zmniejsza obowiązków państwa, a jedynie przesuwa jego aktywność w kierunku wspomagania zagrożonych w okresach między powodzią (edukacja, poradniki, stymulowanie rozwoju produkcji i usług w dziedzinie indywidualnych zabezpieczeń budynków). Rosnąca zamożność społeczeństwa i podejście rynkowe może zwiększyć gotowość części społeczeństwa do traktowania aktywności instytucji działających w obszarze bezpieczeństwa jako działalności częściowo komercyjnej, wymagającej opłat za wyższy standard usług.

Jak już wspomniano, problemem jest niski stan świadomości społecznej. Z drugiej strony, wśród profesjonalistów jest doceniana waga edukacji podmiotów zagrożonych powodzią, a wiedza o zagrożeniu sprzyja racjonalnym działaniom, zmniejszającym ryzyko związane z powodzią. Reasumując, do 2030 r. zmiany w kierunku budowy kultury ryzyka mogą być nieznaczne.

### Ranga polityki wodnej w Polsce i waga poszczególnych zadań gospodarki wodnej

Rozwój gospodarczy spowoduje z jednej strony większe zapotrzebowanie na wodę, z drugiej zaś – perspektywa zmian klimatu, skutkująca większym zagrożeniem powodzią i suszą, stworzy sytuację, w której gospodarka wodna będzie musiała sprostać nowym wyzwaniom. Świadomość tych wyzwań i dobra sytuacja gospodarcza będą sprzyjać potrzebie poświęcenia większej uwagi zagadnieniom

ochrony zasobów wodnych. Ranga polityki wodnej w Polsce nieznacznie wzrośnie. Najważniejszym zadaniem pozostanie zaopatrzenie w wodę. Podobnie jak dzisiaj, ważna będzie ochrona przed zagrożeniami naturalnymi. Zapewnienie warunków do wykorzystania energetyki wodnej również może stać się ważnym zadaniem. Nieco mniejszą wagę będzie miało zaspokojenie potrzeb turystyki i rekreacji. Niezbyt wysoką wagę będzie miało zadanie tworzenia warunków do żeglugi towarowej, choć rozwój tej dziedziny jest możliwy. Również ochrona środowiska wodnego i ekosystemów od wody zależnych nie będzie priorytetowym celem gospodarki wodnej. Nie znaczy to, że pogorszy się stan ilościowy i jakościowy zasobów wodnych. Woda będzie ważna nie tylko jako zasób niezbędny do życia, lecz także jako element krajobrazu oraz ze względu na funkcję rekreacyjną. Dobra koniunktura gospodarcza w połączeniu z potrzebami człowieka sprawi, że inwestycje związane z ochroną zasobów wodnych będą na relatywnie wysokim poziomie.

#### Instrumenty zarządzania

Zgodnie z logiką scenariusza rynkowego, instrumenty ekonomiczne będą najważniejszą grupą w zarządzaniu gospodarką wodną. Spośród nich największą rolę mogą odegrać opłaty za korzystanie ze środowiska oraz wszelkiego rodzaju dotacje, pożyczki i kredyty. Niewiele mniejszą wagę będą miały instrumenty prawne, głównie akty prawne i administracyjne, tj. decyzje, takie jak pozwolenia wodnoprawne. Instrumenty społeczne natomiast mogą nie odegrać większej roli w procesie zarządzania.

Należy jednakże pamiętać, że poziom ingerencji państwa w procesy gospodarcze będzie w tym scenariuszu względnie niski, stąd rola instrumentów zarządzania może być mniejsza niż np. w scenariuszu zrównoważonym.

#### 2.1.2. Stan środowiska wodnego i zapotrzebowanie na wodę

##### Potrzeby wodne ludności<sup>2</sup>

W scenariuszu rynkowym zakłada się stopniowy proces wyrównania dochodów w regionach biednych i bogatych, co przełoży się na wzrost jednostkowych potrzeb wodnych w sektorze komunalnym. Przewiduje się średnie zużycie wody na poziomie 120 l/dobę/mieszkańca, przy obecnym średnim zużyciu ok. 100 l/dobę/mieszkańca. Poziom zwodociągowania gmin wzrośnie i może osiągnąć 92% (obecnie to 87%). Straty wody w sieci średnio będą kształtować się na poziomie ok. 15 % (obecnie ok. 25%).

Całkowite zapotrzebowanie na wodę może się zmniejszyć o ok. 9%.

##### Potrzeby wodne rolnictwa

Szybki rozwój społeczno-ekonomiczny będzie sprzyjać postępowi gospodarki rolnej. Ze względu na łączenie się małych, nieefektywnych ekonomicznie gospo-

---

<sup>2</sup> Scenariusz oparto przede wszystkim na danych literaturowych i statystycznych. Zdanie ankietowanych specjalistów z gospodarki wodnej nie było tutaj jednoznaczne.

darstw rolnych, przewiduje się znaczny spadek ich liczby. Nastąpi to głównie na obszarach o dogodnych warunkach glebowych, poza zasięgiem metropolitalnym, w gospodarstwach o dużej produktywności, zajmujących się produkcją wysokotowarową. Ze względów ekonomicznych rolnictwo będzie się rozwijało najintensywniej na obszarach występowania gleb o wyższych klasach bonitacyjnych.

Wzrost zapotrzebowania na energię odnawialną wpłynie na możliwości spalania biomasy. To spowoduje znaczny wzrost wielkości upraw roślin wysokoenergetycznych w promieniu ok. 40 km od elektrowni.

Przestrzenna specjalizacja w rolnictwie, możliwa we wszystkich trzech scenariuszach, będzie związana z predyspozycją odpowiednich regionów. Przykładowo na Warmii i Mazurach oraz na terenach górskich ten rozwój będzie związany z agroturystyką.

Powstaną dodatkowe urządzenia do nawodnień, ale nie będzie opłat za pobór wody do celów rolniczych lub będą one niewielkie. Spowoduje to, że głównym sposobem nawadniania nadal będą nieefektywne melioracje grawitacyjne. Jednocześnie możliwy jest rozwój nowoczesnych technologii nawadniania [Kapiszewski i in. 2010].

Mimo intensyfikacji rolnictwa nie zakłada się znaczących zmian potrzeb wodnych. Najprawdopodobniej ich wzrost będzie niewielki.

### Potrzeby wodne przemysłu<sup>3</sup>

Duży wzrost PKB (o ok. 5%) przybliży nas do liderów gospodarczych UE.

Polska stanie się w tym scenariuszu krajem bardzo atrakcyjnym dla przemysłu, zarówno dla inwestorów polskich, jak i zagranicznych. W istniejących okręgach przemysł wydobywczy i ciężki będą zastępowane przez takie rodzaje przetwórstwa i usługi, których koszty ponoszone przez środowisko są najmniejsze, a wartość dodana największa.

W scenariuszu rynkowym jest możliwy znaczący rozwój infrastruktury komunikacyjnej z uwzględnieniem żeglugi śródlądowej. Tereny wokół nowej infrastruktury staną się bardzo atrakcyjne głównie dla inwestycji w wyznaczonych specjalnych strefach ekonomicznych i gminach o dużym potencjale zmian gospodarczych. Może to spowodować znaczne zwiększenie potrzeb wodnych w tych regionach.

Nowoczesne technologie wprowadzone do istniejących i potencjalnych zakładów przemysłowych, zgodnie z wymaganiami UE, wpłyną na zmniejszenie wodochłonności. Mimo to, na podstawie przesłanek literaturowych i danych statystycznych, zakłada się znaczny wzrost zużycia wody w przemyśle.

### Potrzeby wodne sektora energetycznego

Zgodnie z założeniami polityki energetycznej [Polityka... 2009], realizowany będzie scenariusz *nuklearny* gdzie obok wykorzystania zasobów odnawialnych

---

<sup>3</sup> Scenariusz oparto przede wszystkim na danych literaturowych i statystycznych. Zdanie ankietowanych specjalistów z branży gospodarki wodnej nie było tutaj jednoznaczne.



źródeł energii (OZE), przewidywany jest rozwój energetyki jądrowej. Przyjęcie powyższych założeń oznacza, że energetyka jądrowa byłaby w stanie pokryć od 25% do 30% prognozowanego zużycia energii elektrycznej w warunkach umiarkowanego wzrostu oraz przy jednoczesnym udziale OZE na poziomie 15–20%. Alternatywne dla technik opartych na spalaniu węgla źródła energii byłyby w stanie pokryć 40–50% zapotrzebowania na energię elektryczną i co najmniej 30% zapotrzebowania na energię finalną. W OZE istotny udział może mieć spalanie biomasy. W istniejących i planowanych elektrowniach i elektrociepłowniach będą wprowadzane wodooszczędne technologie.

Mimo prognozowanego znacznego spadku zużycia wody w elektrowniach tradycyjnych (o ok. 75%), elektrownie jądrowe będą wymagać dużych ilości wody do chłodzenia, dlatego w tym scenariuszu przewiduje się utrzymanie obecnego poziomu lub niewielki wzrost zapotrzebowania na wodę dla energetyki.

#### Stan środowiska wodnego

Scenariusz rynkowy zakłada pierwszeństwo ekonomii przed zagadnieniami środowiskowymi. Jednak stosunkowo szybki wzrost gospodarczy pozwala na inwestowanie w nowe wodooszczędne i „czyste” technologie, dzięki czemu presja na zasoby wodne nie zwiększy się zbyt mocno mimo znacznego wzrostu produktu krajowego brutto. W konsekwencji zakłada się utrzymanie obecnego stanu w dziedzinie zapewnienia potrzeb wodnych środowiska naturalnego, a także nieznaczną poprawę stanu fizykochemicznego i biologicznego wód.

Aktywność inwestycyjna w zakresie budowy obiektów hydrotechnicznych może wzrosnąć w niewielkim stopniu w stosunku do stanu obecnego, ale można też liczyć na korzystne dla walorów przyrodniczych i krajobrazowych zmiany w projektowaniu i wykonawstwie obiektów. W efekcie stan środowiska wodnego w aspekcie hydromorfologicznym również nie powinien ulec znaczącym zmianom.

## **2.2. Wizja rozwoju gospodarki wodnej dla scenariusza A2 (scenariusz regionalny – rozwój gospodarczy – regionalnie)**

### 2.2.1. Podstawy gospodarki wodnej w Polsce

#### Zarządzanie zasobami wodnymi

W scenariuszu regionalnym, podobnie jak w rynkowym, priorytetem jest rozwój gospodarczy, a nie środowisko naturalne, choć gdzie indziej można szukać głównych przyczyn tego stanu. Głównym powodem może być niższy niż w pozostałych scenariuszach poziom życia społeczeństwa, a także niższy poziom rozwoju społeczno-gospodarczego Polski. W konsekwencji, cele poprawy stanu środowiska wodnego, zdefiniowane w Ramowej Dyrektywie Wodnej, będą oceniane jako zbyt trudne do realizacji, zwłaszcza w kontekście sygnalizowanych zmian klimatu, mogących skutkować zwiększeniem częstotliwości zjawisk ekstremalnych. Najbardziej kontrowersyjną zasadą ZZZW będzie zasada zwrotu kosztów usług wodnych, która może być kontestowana nie tylko dla usług związanych z ochroną przeciw-

powodziową, żegluga, rolnictwem i energetyką, lecz także dla usług związanych z użytkowaniem wody przez ludzi i przemysł. Podobnie jak w scenariuszu rynkowym, zasada traktowania wody jako podstawowego czynnika kształtującego funkcjonowanie ekosystemów, nie spotka się z akceptacją. Nie zostanie wdrożona również zasada integralnego traktowania wód powierzchniowych, podziemnych i ekosystemów zależnych od wód. Zasada udziału społeczeństwa w zarządzaniu zasobami wodnymi nie będzie w pełni wdrożona i może być, tak jak ma to miejsce obecnie, ograniczona do informowania społeczeństwa. Powody takiego stanu, m.in. niska świadomość i niski poziom aktywności społecznej, są natury systemowej i nie odnoszą się tylko do zagadnień związanych z gospodarką wodną.

Podejście zlewniowe w planowaniu i zarządzaniu zasobami wodnymi będzie powszechnie akceptowane i niekontrowersyjne.

#### Podejście do zagrożeń naturalnych

Scenariusz regionalny tworzy uwarunkowania, przez które niełatwo będzie uzyskać akceptację społeczną dla działań zgodnych ze światowymi trendami w podejściu do zagrożeń naturalnych. Mniej zamożne społeczeństwo jest bardziej wrażliwe na zagrożenia i mniej skłonne do przyjęcia na siebie części odpowiedzialności za swoje bezpieczeństwo. Może się okazać, że założona tu 20-letnia perspektywa jest za krótka, aby podejście skupiające się na zarządzaniu ryzykiem oraz promowaniu i wspieraniu aktywności jak największej liczby podmiotów zyskało akceptację zarówno środowiska zawodowego, jak i społeczeństwa. Na przyspieszenie procesu zmian mogą wpłynąć doświadczenia i wnioski ze zdarzeń ekstremalnych, ale skutkiem tego może być również nasilenie się żądań poprawy stanu technicznego i rozwoju infrastruktury technicznej, służącej ochronie przed zjawiskami ekstremalnymi. Nie nastąpi istotna poprawa poziomu wiedzy i świadomości społeczeństwa w zakresie skutecznych metod zarządzania ryzykiem związanym z zagrożeniami powodzią i suszą. Państwo będzie podejmować działania w dziedzinie ładu przestrzennego z wykorzystaniem prawa i ubezpieczeń. Istniejący system będzie usprawniany, ale znacząca zmiana jakościowa jest wątpliwa.

#### Ranga polityki wodnej w Polsce i waga poszczególnych zadań gospodarki wodnej

Umiarkowane tempo rozwoju gospodarczego może skutkować mniejszym niż w scenariuszu rynkowym wzrostem presji na środowisko wodne, ale przy niższym poziomie PKB trudniej będzie o inwestycje chroniące to środowisko, ponieważ rozważany tu scenariusz zakłada priorytet spraw gospodarczych. W konsekwencji ranga polityki wodnej w Polsce się nie zmieni i będzie niska. Najważniejszym zadaniem gospodarki wodnej pozostanie zaopatrzenie w wodę. Istotna będzie ochrona przed zagrożeniami naturalnymi. Nieco mniejszą wagę będzie miała turystyka i rekreacja, a dalsze miejsce zajmie ochrona środowiska wodnego. Działania ukierunkowane na tworzenie warunków do wykorzystania energetyki wodnej będą miały średnią wagę. Najniżej w hierarchii znajdzie się żegluga towarowa, która zostanie uznana za mało istotną.

### Instrumenty zarządzania

W odróżnieniu od scenariusza rynkowego, w regionalnym będą instrumenty prawne i administracyjne. Największą rolę w tej grupie mogą odegrać decyzje administracyjne (np. pozwolenia wodnoprawne). Nieco mniejszą rolę będą miały instrumenty ekonomiczne: opłaty za korzystanie ze środowiska, kary, dotacje, pożyczki, kredyty, ulgi etc. Sytuację może poprawić wykorzystanie środków unijnych, ale wobec niskiej rangi gospodarki wodnej uzyskanie znaczących środków jest wątpliwe. Potencjalna rola instrumentów społecznych jest najtrudniejsza do określenia. Mogą one, tak jak to się dzieje obecnie, być traktowane jako zło konieczne, wynikające ze zobowiązań międzynarodowych, np. wymóg konsultacji społecznych w RDW. Mogą też ewoluować w kierunku bardziej aktywnych działań informacyjnych i edukacyjnych oraz rzeczywistego udziału społecznego w procesie planowania.

Podobnie jak w scenariuszu A1, poziom ingerencji państwa w procesy gospodarcze będzie relatywnie niski, stąd rola instrumentów zarządzania będzie mniejsza niż np. w scenariuszu zrównoważonym.

### 2.2.2. Stan środowiska wodnego i zapotrzebowanie na wodę

#### Potrzeby wodne ludności<sup>4</sup>

Przyjmuje się spadek liczby ludności o 4% w stosunku do stanu obecnego. Z powodu zwiększania się różnic w dochodach w regionach biednych i bogatych wzrost jednostkowego zużycia wody będzie mniejszy niż w scenariuszu rynkowym. Będzie wynosił ok. 110 l/dobę/mieszkańca. Średni poziom zwodociągowania będzie się kształtował na poziomie 90%. Straty w sieci wodociągowej zmniejszą się w stosunku do obecnego poziomu (25%) i osiągną ok. 17%.

Całkowite zapotrzebowanie na wodę może się zmniejszyć o około 15%.

#### Potrzeby wodne rolnictwa

Zakładany w scenariuszu poziom rozwoju społeczno-ekonomicznego nie będzie sprzyjał rozwojowi gospodarki rolnej. Z uwagi na zachowanie tradycji, struktura upraw rolnych będzie zbliżona do obecnej.

Zakłada się zmniejszenie powierzchni obszarów rolnych. Ze względu na łączenie się małych, nieefektywnych ekonomicznie gospodarstw rolnych, wystąpi niewielki spadek ich liczby. Nastąpi to głównie na obszarach o dogodnych warunkach glebowych, poza zasięgiem metropolitalnym, w gospodarstwach o dużej produktywności, zajmujących się produkcją wysokotowarową [Bański 2007].

Większe zapotrzebowanie na energię odnawialną wpłynie na możliwości spalania biomasy. Spowoduje to wzrost wielkości upraw roślin wysokoenergetycz-

---

<sup>4</sup> Scenariusz oparto przede wszystkim na danych literaturowych i statystycznych. Zdanie ankietowanych specjalistów z branży gospodarki wodnej nie było tutaj jednoznaczne.

nych w promieniu ok. 40 km od elektrowni, ale głównie w gminach charakteryzujących się dużą przedsiębiorczością.

Przestrzenna specjalizacja w rolnictwie, możliwa we wszystkich trzech scenariuszach, będzie związana z predyspozycją regionów.

Dodatkowe urządzenia do nawodnień będą stosowane na obszarach, które tego wymagają. Przewiduje się, że system opłat za pobór wody do celów rolniczych nie zostanie wdrożony, co nie będzie zmuszać do stosowania technologii wodoszczędnych. Do nawodnień będą wykorzystywane głównie urządzenia grawitacyjne.

Zakłada się niewielki wzrost zużycia wody w sektorze.

#### Potrzeby wodne przemysłu

Przemysł w kraju według tego scenariusza będzie się rozwijać w umiarkowanym tempie; roczny wzrost PKB wyniesie ok. 3%. Atrakcyjność Polski dla nowych inwestycji pozostaje na obecnym poziomie. Z uwagi na zwiększenie potrzeb energetycznych będzie się rozwijać przemysł wydobywczy surowców energetycznych, a przemysł ciężki pozostanie na obecnym poziomie. Aktualne plany rozbudowy infrastruktury komunikacyjnej nie zostaną w pełni zrealizowane, a ta, która powstanie, będzie przyciągała nowych inwestorów. Wpłynie to nieznacznie na zwiększenie zapotrzebowania na wodę w tych regionach. Umiarkowany wzrost utrzyma nas na obecnym poziomie gospodarczym w UE.

Nowoczesne technologie nie będą szeroko wprowadzone do istniejących zakładów przemysłowych, co znacząco nie wpłynie na zmniejszenie wodochłonności.

Mimo niższego niż w pozostałych scenariuszach wzrostu PKB, przewiduje się znaczne zwiększenie potrzeb wodnych w przemyśle.

#### Potrzeby wodne sektora energetycznego

Zgodnie z założeniami polityki energetycznej, realizowany będzie scenariusz „rządowy” [Polityka... 2009]. Niższy wzrost gospodarczy będzie skutkował spowolnieniem zmian w tym sektorze w stosunku do zakładanych w scenariuszu. W efekcie sytuacja w energetyce w 2030 r. może odpowiadać tej z pogranicza lat 2020 i 2025 ww. scenariusza. Obok wykorzystania zasobów odnawialnych źródeł energii (OZE), możliwy jest rozwój energetyki jądrowej. Zakłada się, że w warunkach umiarkowanego wzrostu energetyka jądrowa byłaby w stanie pokryć maksymalnie ok. 10% prognozowanego zużycia energii elektrycznej, przy równoczesnym udziale OZE na poziomie 15–20%. W OZE istotny będzie udział energii ze spalania biomasy. Udział tradycyjnych źródeł energii (węgiel kamienny i węgiel brunatny) spadnie do poziomu 60–70%.

Mimo rozbudowy istniejących i powstania nowych elektrowni, potrzeby wodne w sektorze pozostaną na obecnym poziomie lub nieznacznie spadną

#### Stan środowiska wodnego

Scenariusz regionalny, podobnie jak rynkowy, zakłada pierwszeństwo ekonomii nad zagadnieniami środowiskowymi. Rozwój gospodarczy będzie tu wolniejszy niż w scenariuszu rynkowym, stąd mimo mniejszej skali inwestycji w nowe

wodooszczędne i „czyste” technologie, presja na zasoby wodne zbytnio się nie zwiększy. W konsekwencji tu również zakłada się utrzymanie obecnego *status quo* w dziedzinie zapewnienia potrzeb wodnych środowiska naturalnego oraz stanu fizykochemicznego i biologicznego wód.

Aktywność inwestycyjna w zakresie budowy obiektów hydrotechnicznych pozostanie na obecnym, niskim poziomie. Korzystne dla walorów przyrodniczych i krajobrazowych zmiany w projektowaniu i wykonawstwie obiektów będą następowały wolno, ale z uwagi na obowiązujące prawodawstwo unijne i rosnącą świadomość społeczeństwa, nie będzie realizacji na dużą skalę obiektów nieprzyjaznych środowisku. W efekcie stan środowiska wodnego w aspekcie hydromorfologicznym nie powinien ulec znaczącym zmianom.

### **2.3. Wizja rozwoju gospodarki wodnej dla scenariusza B1 (scenariusz zrównoważony – rozwój zrównoważony – globalnie)**

#### 2.3.1. Podstawy gospodarki wodnej w Polsce

##### Zarządzanie zasobami wodnymi

Scenariusz zakłada, że będziemy żyć w zglobalizowanym świecie nastawionym na rozwój zrównoważony. Pozwoli to na wzrost gospodarczy, choć nie tak szybki jak w scenariuszu rynkowym. Zakłada się duże poszanowanie dla środowiska, zasobów naturalnych, w tym zasobów wodnych i ekosystemów od wód zależnych. Zasady Zintegrowanego Zarządzania Zasobami Wodnymi znajdują w tym scenariuszu szybszą i pełniejszą akceptację niż w pozostałych dwu scenariuszach. Jedynie wdrożenie reguł ekonomicznych w gospodarce wodnej, oparte na zasadzie zwrotu kosztów usług wodnych, może budzić wątpliwości, zwłaszcza w dziedzinach, w których użytkowanie wody było dotychczas całkowicie oddzielone od tej zasady. Chodzi głównie o pobory wody dla rolnictwa, wykorzystanie jej do celów chłodniczych, przerzuty wody do innych zlewni. Obecnie takie użytkowanie nie jest obciążone opłatami. Inwestycje z zakresu ochrony przed powodzią, zwłaszcza dotyczące silnie zagospodarowanych obszarów, również nie będą objęte zasadą zwrotu kosztów usług wodnych.

Akceptacja większości ww. zasad zarówno przez środowiska profesjonalne, jak i społeczeństwo, nie przesądza o ich pełnym wdrożeniu. Polityka wodna będzie formułować realistyczne cele, uwzględniające możliwości ekonomiczne państwa oraz stan świadomości i poziom aktywności obywateli.

Warto pamiętać, że potrzeba myślenia o rozwoju w długoterminowej (wielopokoleniowej) perspektywie sprzyja aktywności, mającej na celu diagnozę problemów i potrzebnych działań adaptacyjnych, związanych ze zmianami klimatu.

##### Podejście do zagrożeń powodzią i suszą

W tym scenariuszu podejście do zagrożeń naturalnych będzie się zmieniać, lecz podobnie jak w scenariuszu rynkowym zmiany te będą powolne. Akceptowana będzie idea *zarządzania ryzykiem* w miejsce powszechnego obecnie podejścia,

opartego na *ochronie przed zagrożeniem*. Będzie temu sprzyjał, związany z ideą zrównoważonego rozwoju, postulat inwestowania w edukację i informowanie społeczeństwa oraz rozszerzanie udziału społeczeństwa w planowaniu. Zagrożenia naturalne, ich przyczyny i charakter, ściśle związane z zagadnieniami środowiskowymi, mogą być w tym scenariuszu nieco lepiej rozumiane przez społeczeństwo niż w pozostałych. Stąd możliwość większej akceptacji społecznej dla nieusuwalności ryzyka i potrzeby większej aktywności wszystkich potencjalnie zainteresowanych, w tym zagrożonych. Nie zakłada się jednak, że różnice te będą na tyle istotne, że w ciągu 20-lecia nastąpią wyraźnie szybsze zmiany niż w scenariuszu rynkowym. Przewiduje się raczej podobną skalę zmian, przy czym w scenariuszu zrównoważonym w większym stopniu mogą one dotyczyć świadomości ludzi, w scenariuszu rynkowym natomiast będą bardziej technokratyczne (np. organizacja i zarządzanie, prognozy). Świadomość obywateli w zakresie zagrożeń naturalnych może również prowadzić do kalkulacji ryzyka i bardziej świadomego wyboru miejsca zamieszkania oraz lokowania biznesu. Państwo, podobnie jak w pozostałych scenariuszach, będzie podejmować działania w dziedzinie ładu przestrzennego z wykorzystaniem prawa i ubezpieczeń.

#### Ranga polityki wodnej w Polsce i waga poszczególnych zadań gospodarki wodnej

Założeniem scenariusza jest szybki rozwój gospodarczy i większa waga przywiązywana do stanu środowiska naturalnego. Tworzy to bardzo korzystną sytuację dla działań mających na celu poprawę stanu wód i środowiska wodnego. W konsekwencji ranga polityki wodnej w Polsce znacznie wzrośnie i nastąpią przewartościowania priorytetów gospodarki wodnej. Większe znaczenie będzie miała ochrona wód, ekosystemów wodnych i od wód zależnych – zrówna się w hierarchii z funkcją zaopatrzenia w wodę. Tradycyjnie ważnym zadaniem gospodarki wodnej pozostanie ochrona przed zagrożeniami naturalnymi: powodzią i suszą. Nieco mniejszą wagę będzie miało zaspokojenie potrzeb turystyki i rekreacji. Tworzenie warunków do wykorzystania energetyki wodnej będzie średnio istotne. Żegluga towarowa pozostanie najmniej ważnym działem gospodarki wodnej.

#### Instrumenty zarządzania

W scenariuszu zrównoważonym naturalne wydaje się duże znaczenie instrumentów społecznych. Szczególnie istotne będą działania ukierunkowane na zdobycie szerokiej akceptacji społecznej dla tej ścieżki rozwojowej i osiągnięcia konsensusu odnośnie do praktycznych aspektów realizacji idei zrównoważonego rozwoju. Wypracowanie rozwiązań będzie zapewne wymagało podniesienia poziomu wiedzy oraz wyższego niż obecnie poziomu zaufania społecznego. W konsekwencji edukacja i informacja oraz konsultacje społeczne i partycypacja społeczna staną się podstawowymi instrumentami w planowaniu i zarządzaniu gospodarką wodną. Równie ważnym elementem systemu zarządzania będą instrumenty prawno-administracyjne, a także ekonomiczne. Wobec wyraźnego wzrostu rangi gospodarki wodnej, możliwości wykorzystania wszystkich grup instrumentów wzrosną i ich skuteczność będzie zapewne większa niż w pozostałych scenariuszach.

### 2.3.2. Stan środowiska wodnego i zapotrzebowanie na wodę

#### Potrzeby wodne ludności<sup>5</sup>

Czynnikiem kształtującym poziom komunalnych potrzeb wodnych będzie wysoki stan świadomości ekologicznej społeczeństwa. Zakłada się średnie zużycie wody na poziomie 105 l/dobę/mieszkańca, czyli nieznaczne zwiększenie w stosunku do stanu obecnego (o ok. 5%). W tym scenariuszu średni poziom zwodociągowania będzie najwyższy na poziomie 97%. Zakłada się również najmniejsze straty w sieci wodociągowej, osiągające ok. 12%.

Całkowite zapotrzebowanie na wodę może się zmniejszyć nawet o 23%.

#### Potrzeby wodne rolnictwa<sup>5</sup>

Szybki rozwój społeczno-ekonomiczny będzie sprzyjać postępowi gospodarki rolnej. Ekologiczne i ekonomiczne uwarunkowania sprawią, że rolnictwo będzie się rozwijać zwłaszcza na obszarach o dogodnych warunkach glebowych i klimatycznych. Zakłada się nieznaczne zmniejszenie powierzchni upraw. Tereny mniej urodzajne, utracone dla rolnictwa, będą zalesiane. Ze względu na łączenie się małych, nieefektywnych ekonomicznie gospodarstw rolnych, nastąpi niewielki spadek ich liczby. Na obszarach poza zasięgiem metropolitarnym będzie miała miejsce restrukturyzacja gospodarstw rolnych w kierunku produkcji wysokotowarowej.

Będą istniały także gospodarstwa ekologiczne. Ze względu na swój potencjał i tradycyjny sposób uprawy Polska wykaże się zwiększeniem produkcji żywności ekologicznej. Małe gospodarstwa rolne o powierzchni mniejszej niż 1 ha będą odgrywały rolę wspomagającą w równoważeniu ekologicznej funkcji obszarów osadnictwa rozproszonego i zróżnicowaniu funkcji gospodarczych obszarów wiejskich.

Znaczący wzrost zapotrzebowania na odnawialną energię wpłynie na możliwości spalania biomasy. Spowoduje to wzrost wielkości upraw roślin wysokoenergetycznych w promieniu ok. 40 km od elektrowni.

Przestrzenna specjalizacja w rolnictwie, możliwa we wszystkich scenariuszach, będzie związana z predyspozycją odpowiednich regionów. Przykładowo na Warmii i Mazurach i na terenach górskich rozwój będzie związany z agroturystyką. Stanie się tak głównie przy ekstensyfikacji rolnictwa tych regionów.

Dodatkowe urządzenia służące do nawodnień będą stosowane na obszarach, które tego wymagają. Zostaną wprowadzone opłaty za pobór wody do nawodnień rolniczych, co spowoduje silny rozwój wodoszczędnych technologii.

Zmniejszenie wodochłonności sektora może spowodować niewielki spadek potrzeb wodnych.

#### Potrzeby wodne przemysłu

W tym scenariuszu Polska staje się atrakcyjnym krajem zarówno dla inwestorów polskich, jak i zagranicznych. Roczny wzrost PKB wyniesie 3–5% i przybliży

---

<sup>5</sup> Scenariusz oparto przede wszystkim na danych literaturowych i statystycznych. Zdanie ankietowanych specjalistów z branży gospodarki wodnej nie było tutaj jednoznaczne.

nas do liderów gospodarczych UE. W istniejących okręgach przemysłowych przemysł wydobywczy i ciężki tracą na znaczeniu. Zastąpiony zostanie przez zróżnicowany przemysł przetwórczy i usługi, których koszty ponoszone przez środowisko są najmniejsze, a wartość dodana największa. Będzie możliwy znaczący rozwój infrastruktury komunikacyjnej z uwzględnieniem żeglugi śródlądowej. Specjalne strefy ekonomiczne i gminy o dużym potencjale zmian gospodarczych w pobliżu węzłów komunikacyjnych staną się bardzo atrakcyjne dla nowych inwestycji, co spowoduje wzrost zapotrzebowania na wodę dla przemysłu tych regionów.

W związku ze stosowaniem nowoczesnych technologii, wprowadzonych do istniejących i potencjalnych zakładów przemysłowych, znacznie zmniejszy się wodochłonność, jednak nastąpi wzrost całkowitego zużycia wody przez przemysł<sup>6</sup>. Będzie on jednak mniejszy niż w scenariuszu rynkowym i regionalnym.

#### Potrzeby wodne sektora energetycznego

Zgodnie z założeniami polityki energetycznej realizowany będzie scenariusz *ekologiczny*.

Zakłada się wzrost wykorzystania odnawialnych źródeł energii w bilansie energii finalnej do 20% w roku 2030 i osiągnięcie w 2020 r. 10% udziału biopaliw oraz utrzymanie tego poziomu w latach następnych. Lasy będą chronione przed nadmiernym eksploatowaniem w celu pozyskiwania biomasy. Będzie stosowana zasada zrównoważonego wykorzystania obszarów rolniczych na cele OZE, w tym biopaliw, tak aby nie doprowadzić do konkurencji między energetyką odnawialną a rolnictwem.

W scenariuszu zakłada się wzrost efektywności we wszystkich sferach wytwarzania, dystrybucji i konsumpcji energii oraz zwiększenie stopnia dywersyfikacji źródeł dostaw. Zostaną stworzone optymalne warunki do rozwoju energetyki rozproszonej, opartej na lokalnie dostępnych surowcach. Istotny element będą stanowiły surowce wykorzystywane do produkcji biogazu, takie jak produkty uboczne i pozostałości rolnictwa oraz przetwórstwa rolno-spożywczego. W istniejących i planowanych elektrowniach oraz elektrociepłowniach będą wprowadzane wodoszczędne technologie.

W efekcie nastąpi istotne zmniejszenie potrzeb wodnych w tym sektorze.

#### Stan środowiska wodnego

Scenariusz zrównoważony przykłada podobną wagę do spraw gospodarczych i zagadnień środowiskowych. W tym wariantcie rozwoju istotną będzie długookresowa perspektywa, gdyż pojęcie zrównoważonego rozwoju wiąże się z oszczędnym wykorzystywaniem zasobów środowiska w trosce o przyszłe pokolenia. Moż-

---

<sup>6</sup> Zdaniem ankietowanych specjalistów z branży gospodarki wodnej nastąpi spadek całkowitego zużycia wody przez przemysł. Jednak przy zakładanym wzroście gospodarczym, czyli praktycznie podwojeniu produkcji w perspektywie roku 2030, spadek zużycia wody przez przemysł, nawet przy wprowadzeniu nowych, wodoszczędnych technologii wydaje się być dyskusyjny.



na również liczyć na to, że plany poprawy stanu środowiska wodnego będą tu realizowane, a efekty stosunkowo szybkiego wzrostu gospodarczego w większym stopniu niż w scenariuszu rynkowym inwestowane w wodoszczędne i „czyste” technologie. Presja na zasoby wodne nie zwiększy się. Osiągniemy poprawę stanu ekologicznego wód, a potrzeby wodne środowiska będą uwzględniane w większym stopniu niż obecnie.

Aktywność inwestycyjna w zakresie budowy technicznych obiektów gospodarki wodnej pozostanie na obecnym poziomie, ale można liczyć na wyraźne, korzystne dla walorów przyrodniczych i krajobrazowych zmiany w projektowaniu i wykonawstwie obiektów. W efekcie stan środowiska wodnego w aspekcie hydromorfologicznym ulegnie poprawie, choć zmiany nie będą znaczne.

## Zasoby wodne i prognoza ich zmian

*Małgorzata Barszczyńska, Małgorzata Długosz,  
Danuta Kubacka, Anna Łudzik, Paweł Madej,  
Małgorzata Szopnicka*

### 1. Koncepcja szacowania zasobów wód powierzchniowych

Zasoby wód powierzchniowych najczęściej są określane w konkretnych przekrojach rzek i przedstawiane jako charakterystyki statystycznych przepływów. Okazjonalnie są wydawane publikacje ilustrujące rozkład obszarowy zasobów wód powierzchniowych, najczęściej w postaci odpływu jednostkowego. Ten sposób obrazowania można spotkać w atlasach hydrologicznych, gdzie odpływy jednostkowe są przedstawiane w postaci izolinii [Grzegorzczak 1994, Atlas hydrologiczny... 1987]. W niniejszej pracy wykorzystano oba podejścia, koncentrowano się na wyznaczeniu średniej wielkości zasobów i uzupełniano to informacją nt. lat suchych i mokrych. Zasoby wód powierzchniowych Polski określono na podstawie danych pomiarowych z sieci wodowskazowej IMGW-PIB. Jako okres referencyjny przyjęto dwudziestolecie 1971–1990<sup>7</sup>. Przedstawiono go na tle 60-letniego okresu obserwacji. Dokonano również oszacowania przyszłych zasobów w oparciu na prognozach zmian opadu uzyskanych z modeli klimatycznych [Zmiany... 2011].

Możemy rozróżnić zasoby własne, to jest pochodzące z opadu na danym obszarze oraz zasoby pochodzące z dopływu z obszarów sąsiednich, nazywane tu umownie zasobami transgranicznymi. Istotna jest znajomość udziału obu rodzajów w zasobach całkowitych, ponieważ oceniając zasoby danego obszaru, musimy być świadomi, na ile jest on samowystarczalny jeśli chodzi o wodę [Stan i wykorzystanie... 1996]. Wody dopływające z sąsiednich obszarów mogą być zanieczyszczone, a ich gospodarcze wykorzystanie problematyczne lub kosztowne. Ponadto ich ilość zależy od wykorzystania zasobów na obszarach położonych hydrograficznie powyżej (straty bezzwrotne, przerzuty wody). Dlatego przeprowadza się tam bardziej szczegółowe analizy wodnogospodarcze.

---

<sup>7</sup> Powodem wyboru ww. okresu referencyjnego była potrzeba uzyskania zgodności z założeniami przyjętymi dla regionalnego modelu klimatycznego RegCM, którego wyniki będą wykorzystane w określaniu przewidywanych zmian zasobów wód powierzchniowych Polski.

W pracy jako podstawowe przyjęto rozwiązanie oparte na wyznaczeniu odpływów jednostkowych na podstawie danych wodowskazowych. Pokazują one zasoby własne obszaru, tj. pochodzące z opadu. W założonej procedurze obliczeniowej każdy z wodowskazów reprezentował zlewnię różnicową między nim a wodowskazami zlokalizowanymi hydrograficznie powyżej. Odpływ jednostkowy był wyliczany przez podzielenie przyrostu zasobu przez przyrost zlewni i przypisywany do zlewni różnicowej. Problem obszarów nieopomiarowanych rozwiązano, przypisując takim zlewniom lub ich fragmentom wartości odpływu jednostkowego z podobnych zlewni sąsiednich. Zaszła również potrzeba wyeliminowania części zlewni różnicowych ze względu na ich niewielką powierzchnię w stosunku do zlewni powyżej, co powoduje, że wpływ dokładności określenia przepływu wody na wodowskazie może być decydujący dla wyniku obliczeń odpływu jednostkowego. Również problemy związane z antropopresją były powodem eliminacji niektórych zlewni różnicowych. Wszystkie ww. problemy opisano bliżej w pracy pt. *Użycie technik GIS...* [Barszczyńska i in. 2010].

Opisana procedura umożliwia określenie odpływów jednostkowych przypisanych do zlewni różnicowych w całym kraju. Ponieważ obszary zlewni różnicowych nie zawsze mają jednorodny charakter fizycznogeograficzny, przyjęto procedurę uśrednienia i zmiany reprezentacji przestrzennej wyników opartą na narzędziach GIS. Odpływy jednostkowe przeliczono i uśredniono dla mezoregionów fizycznogeograficznych wg Kondrackiego [2002]. Uzyskane wartości przeliczono następnie z reprezentacji poligonowej do regularnej siatki (grida). Te dwie reprezentacje są podstawowym rezultatem, pozwalającym określać zasoby własne i transgraniczne dla dowolnego obszaru Polski. Umożliwiają one łatwe przypisanie zasobów własnych do różnych podziałów obszarowych np. administracyjnych czy hydrograficznych, z wykorzystaniem narzędzi GIS.

Do określenia zasobów transgranicznych wykorzystano Mapę Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP)<sup>8</sup>. MPHP zawiera ok. 30 tys. zlewni elementarnych o identyfikatorach uporządkowanych hydrograficznie. Przypisanie im zasobów własnych pozwala na łatwe określanie zasobów transgranicznych wybranych obszarów poprzez sumowanie zasobów zlewni elementarnych położonych hydrograficznie powyżej zlewni zawierającej odcinek cieką wpływający do interesującego nas obszaru. Procedura działania oraz przykłady są opisane w [Barszczyńska i in. 2010].

Porównanie odpływów jednostkowych z opadami pozwala na wyznaczenie współczynnika odpływu. Wymaga to opracowania rozkładu przestrzennego opadów zarejestrowanych na stacjach pomiarowych. W niniejszej pracy wykorzystano rozkład opracowany w zadaniu 1. projektu KLIMAT, oparty na metodzie wielobo-

---

<sup>8</sup> Mapę MPHP w skali 1:50 000 opracowano w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej w latach 1997–2003 na zlecenie Ministerstwa Środowiska; ostatnia aktualizacja 2007 r. wykonana na zlecenie Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej; <http://www.kzgw.gov.pl/Rastrowa-Mapa-Podzialu-Hydrograficznego-Polski.html>

ków równego zadeszczenia [Zmiany... 2010]. Rozkład ten zestawiono z odpływem jednostkowym w mezoregionach, w efekcie czego uzyskano warstwę współczynników odpływu. Została ona wykorzystana do oszacowania prognozowanych zasobów wód powierzchniowych dla okresu 2011–2030, które określono na podstawie prognozy przyszłych opadów.

## **2. Charakterystyka hydrologiczna okresów pomiarowych**

Omówione niżej elementy charakterystyki hydrologicznej opierają się na danych sieci obserwacyjnej IMGW-PIB, gromadzonych w postaci elektronicznej w Centralnej Bazie Danych Historycznych (CBDH) – obejmują okres 1951–2010. Dla dwudziestolecia referencyjnego 1971–1990 dokonano analizy opadów atmosferycznych na obszarze Polski oraz przepływów w ciekach powierzchniowych.

Wielkość i zmienność opadów atmosferycznych w zlewni wpływa decydująco na warunki środowiska. Po zbadaniu, jak kształtują się w okresie referencyjnym relacje między obserwowanymi opadami a odpływami ze zlewni, a także przepływami w ciekach powierzchniowych, można wykorzystać i zastosować tę wiedzę w warunkach prognozowanej zmiany klimatu. Można przewidywać, że ocieplenie klimatu spowoduje wydłużenie się sezonu letniego, związanego z opadami deszczowymi, zima z opadami śnieżnymi będzie zaś krótsza. Skrócenie okresu zimowego, przejawiające się mniejszą niż dotąd grubością pokrywy śnieżnej [Zmiany... 2010] spowoduje regresję zasilania topniejącym śniegiem wód gruntowych i będzie skutkowało obniżaniem się poziomu tych wód, co w konsekwencji spowoduje zmniejszenie zasilania cieków w wodę w okresach niżówkowych.

### Kształtowanie się opadów atmosferycznych w dwudziestoleciu referencyjnym 1971–1990

Opierając się na *Atlasie klimatu Polski* [2005], scharakteryzowano kształtowanie się średnich sum rocznych opadów atmosferycznych: najmniejsze są w pasie nizin środkowej Polski – kształtują się w granicach 550–600 mm; opady o wielkości średniej – ok. 700 mm – występują w pasie wybrzeży Bałtyku, w pasie wyżyn i pogórzy – wraz ze wzrostem wysokości nad poziom morza w terenach górskich kształtują się na poziomie od 800 mm aż do osiągnięcia w wyższych partiach gór ponad 1000 mm (maksymalnie 1800 mm).

Analiza sum opadów miesięcznych z 310 stacji w Polsce z lat 1961–2010 pozwoliła ustalić, jakie były średnie sumy opadów w okresie referencyjnym, a także jaki był ich stosunek do okresu normowego 1971–2000, który przyjęto jak w *Atlasie klimatu Polski* [2005]. Stosunek średniej rocznej sumy opadów z wielolecia referencyjnego 1971–1990 do opadu w pięćdziesięcioleciu 1961–2010 wynosi średnio 96,96%, wahając się od 88,64% do 106,80%.

### Kształtowanie się przepływów średnich w ciekach powierzchniowych w okresie referencyjnym na tle sześćdziesięcioletniego okresu obserwacji

Spośród 1257 posterunków wodowskazowych CBDH wybrano 530 posiadających pełny ciąg obserwacji w latach 1971–1990. Dane obserwacyjne: miesięczne

średnie, minimalne i maksymalne przepływy w wybranych przekrojach poddano szeregu analiz i przeliczeń, w wyniku czego uzyskano hydrologiczną charakterystykę dwudziestolecia referencyjnego. Składają się na nią :

- przepływy średnie SSQ – obliczone dla całego wielolecia, a także dla poszczególnych miesięcy i sezonów (pór) roku (zima: grudzień, styczeń, luty; wiosna: marzec, kwiecień, maj; lato: czerwiec, lipiec, sierpień; jesień: wrzesień, październik, listopad);



Rys. 1. Sieć obserwacyjna IMGW dotycząca przepływów na ciekach powierzchniowych obejmuje przekroje wodowskazowe działające w różnych okresach sześćdziesięciolecia 1951–2010.

Tab. 1. Wyniki analiz kształtowania się stosunku przepływów średnich, średnich niskich i średnich wysokich do przepływów średnich w poszczególnych porach roku

	Średnio	Maks.	Min.
Zima			
zima / SSQ <sub>71-90</sub>	109,22%	162,96%	28,22%
	139 z 530 < 100		
Wiosna			
wiosna / SSQ <sub>71-90</sub>	123,76%	171,96%	87,69%
	11 z 530 < 100		
Lato			
lato / SSQ <sub>71-90</sub>	87,17%	180,70%	41,34%
	140 z 530 > 100		
Jesień			
jesień / SSQ <sub>71-90</sub>	79,94%	130,52%	44,36%
	21 z 530 > 100		

- przepływy średnie niskie SNQ – obliczone dla całego wielolecia, a także dla poszczególnych miesięcy i sezonów (pór) roku;
- przepływy średnie wysokie SWQ – obliczone dla całego wielolecia, a także dla poszczególnych miesięcy i sezonów (pór) roku;

Podstawową charakterystykę pogłębiono, analizując stosunki poszczególnych charakterystyk: SNQ/SSQ i SWQ/SSQ we wszystkich badanych przekrojach wodowskazowych. Poniżej zamieszczono tabelę zbiorczą (tab. 1) uzyskanych wyników.

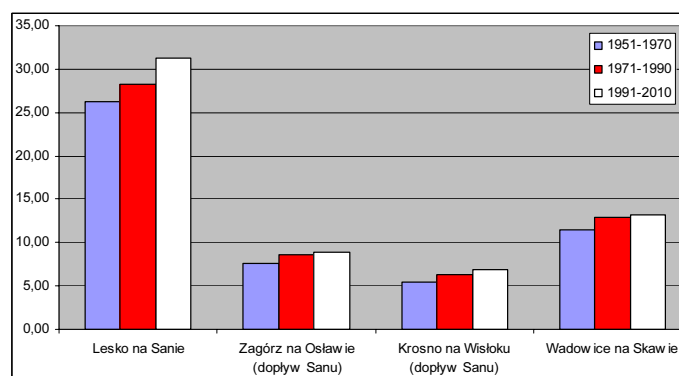
#### Badanie trendu przepływów średnich SSQ w kolejnych dwudziestoleciach historycznych

Analizy kształtowania się przepływów w ciekach kontrolowanych prowadzono poszukując cech regionalnych, a także możliwych tendencji ich zmian.

Korzystając z zamykanego obecnie kolejnego dwudziestolecia obserwacji 1991–2010, pokazano na przykładach progres wielkości SSQ – przykłady w tab. 2. i na rys. 2. dotyczą mniej zmienionych prawych dopływów Górnej Wisły : Skawy i Sanu z dopływami.

Tab. 2. Wartości SSQ w kolejnych dwudziestoleciach

	Lesko na Sanie	Zagórz na Oslawie	Krosno na Wisłoku	Wadowice na Skawie
1951–1970	26,30	7,57	5,49	11,54
1971–1990	28,19	8,57	6,37	12,95
1991–2010	31,32	8,85	6,83	13,24



Rys. 2. Kształtowanie się wielkości SSQ w kolejnych dwudziestoleciach dla wybranych posterunków

Na podstawie analiz linii trendów kształtowania się przepływów w 37 reprezentatywnych (wybranych do rocznika hydrologicznego i jednocześnie posiadających 60-letnie okresy obserwacji) przekrojów obserwacyjnych, określono procent zmiany średniego przepływu w ciągu 60 lat (1951–2010). Wielkości te wahają się od –21,68% (posterunek Przedbórz na Pilicy) do 37,53% (posterunek Burzyna na

Biebrzy). Duża rozbieżność zmian procentowych wykazuje niekiedy cechy regionalne: południe kraju – prawobrzeżne górskie i podgórskie dopływy Wisły wykazują trend rosnący. Dotychczasowe wyniki nie pozwalają postawić tezy o trendzie ogólnopolskim.

#### Charakterystyka hydrologiczna roku posusznego i roku mokrego wybranych w okresie referencyjnym

Dla każdej stacji opadowej wyliczono:

- opad średni (średnia roczna suma opadu) w okresie 1961–2010;
- opad średni w okresie 1971–1990 (okres referencyjny w projekcie KLIMAT);
- opad średni normowy z trzydziestolecia 1971–2000.

Następnie wyliczono dla każdej stacji, jaki był stosunek (w procentach) wyżej wyliczonych średnich sum opadów z całego okresu obserwacji (1961–2010) i okresu referencyjnego (1971–1990) do sum opadów w trzydziestoleciu normowym (1971–2000). Następnie wyliczono dla każdej stacji i każdego roku stosunek sumy opadu rocznego do średniej sumy opadu na tej stacji w okresie normowym 1971–2000. Analizując wyniki obliczeń, spośród wszystkich stacji wyłoniono:

- 85 stacji o opadzie średnim „normowym” (1971–2000) do 560 mm;
- 232 stacje o opadzie średnim „normowym” (1971–2000) powyżej 560 mm;

Przyjęto jak w *Biuletynie PSHM* [2009] skalę wg Z. Kaczorowskiej (tab. 3) i sklasyfikowano każdy rok na każdej stacji w grupach stacji „nizinnych” (do 560 mm) i innych (powyżej 560 mm), a następnie wyliczono ile stacji w każdym roku mieściło się w każdej klasie. Wyniki analizy pozwoliły wskazać lata skrajnie suche i skrajnie mokre w okresie referencyjnym.

Tab. 3. Skala klasyfikacji opadowej wg Z. Kaczorowskiej

	Ocena roku	Procent normy opadowej
1	skrajnie suchy	< 50
2	bardzo suchy	50–74
3	suchy	75–89
4	normalny	90–110
5	wilgotny	111–125
6	bardzo wilgotny	126–150
7	skrajnie wilgotny	> 150

Jak wynika z analiz, w roku 1982 nie było ani jednej stacji w Polsce, w której roczna suma opadów wskazywałaby na ocenę poniżej średniej, natomiast aż na 176 stacjach rok ten był oceniony jako „bardzo suchy”. Wyłonienie najbardziej suchego roku w wieloleciu referencyjnym może posłużyć jako skrajne negatywne odniesienie do możliwości zmiany klimatu.

Określono również rok najbardziej mokry – 1974, w którym żadna stacja nie zanotowała opadów poniżej średnich, a dla 177 stacji został oceniony jako „bardzo wilgotny”.

Powyższe ustalenia potwierdzono przez analizę przeprowadzoną osobno dla stacji „nizinnych” (o sumie opadów poniżej 560 mm) i pozostałych.

Analiza potwierdza też poprawność wyboru 20-lecia 1971–1990 jako okresu o typowej zmienności opadów: zawiera ono lata mokre i suche oraz średnie, w rozkładzie typowym dla naszego klimatu [Stachy 2010, 2011]. Określono zmienność obserwowaną na ciągach wieloletnich jako istotną cechę reżimu hydrologicznego.

Analiza 50-letnich (1961–2010) ciągów rocznych sum opadów dla 310 stacji na obszarze Polski pozwala stwierdzić, że:

- stosunek rocznej sumy opadów w roku posuszonym 1982 do średniej rocznej sumy opadów w 50-leciu 1961–2010 wynosi średnio 71,13%; waha się od 41,64% do 98,19%;
- stosunek rocznej sumy opadów w roku mokrym 1974 do średniej rocznej sumy opadów w 50-leciu 1961–2010 wynosi średnio 125,15%, waha się od 88,65% do 164,71%;

### **3. Zasoby wód powierzchniowych w okresie referencyjnym**

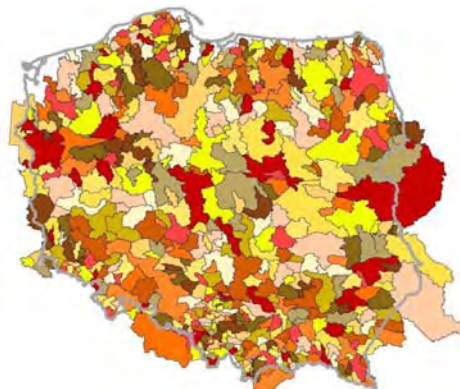
Podstawą obliczenia odpływu jednostkowego wg założonej metodyki były dane pochodzące z CBDH. Wybrano 530 stacji wodowskazowych, dla których w CBDH istnieją pełne ciągi przepływów w okresie 1971–1990. Dla tych wodowskazów zostały skompletowane numeryczne dane mapowe o obszarach ich zlewni. Głównym źródłem danych o geometrii zlewni wodowskazowych było opracowanie wykonane w byłym Ośrodku Zasobów Wodnych IMGW. Za pomocą przekształceń geometrycznych, dostępnych w systemie GIS, uzyskano obszary odpowiadające zlewniom różnicowym wybranych wodowskazów. Położenie wybranych wodowskazów oraz ich zlewnie różnicowe przedstawiają rys. 3a i 3b.

Dane o przepływach zostały użyte do obliczenia dla każdego wodowskazu średnich wartości przepływów rocznych oraz średnich przepływów w poszczególnych porach roku dla okresu wybranego dwudziestolecia. Tak uzyskane wartości wykorzystano do określenia odpływu jednostkowego dla obszaru każdej zlewni różnicowej. Ponieważ sieć wodowskazowa nie obejmuje obszaru całej Polski, uzupełniono uzyskany wynik, znajdując podobieństwa między obszarami. Kierowano się przy tym danymi podziału hydrograficznego obszaru kraju na zlewnie elementarne (MPHP), a w kilku przypadkach korzystano z danych CBDH dotyczących wielkości opadu. Należało uzupełnić informację dla ok. 5% powierzchni Polski, obejmującej głównie obszary na północy i północnym wschodzie kraju. Uzyskany rozkład przestrzenny średniego rocznego odpływu jednostkowego w dwudziestoleciu 1971–1990 w wybranych wodowskazowych zlewniach różnicowych ilustruje rys. 4.



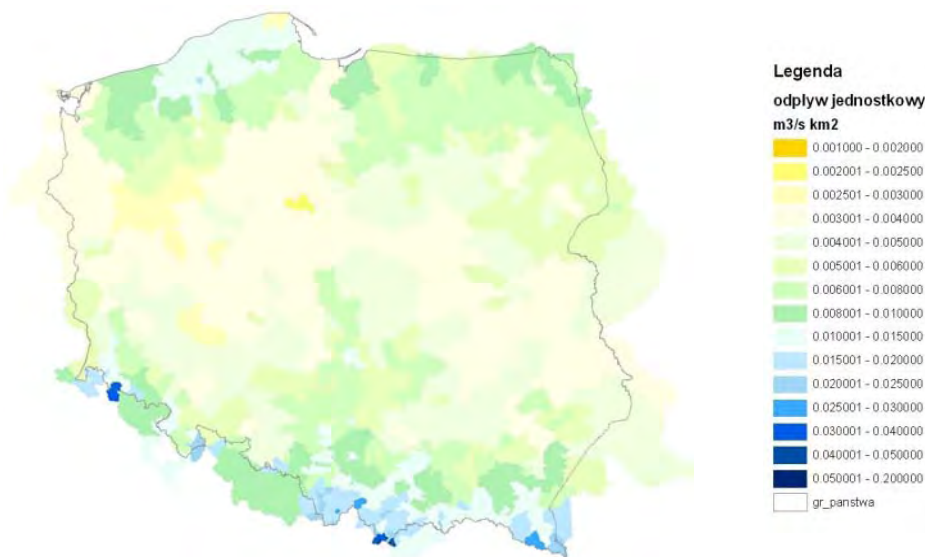


Rys. 3a. Wybrane wodowskazy



Rys. 3b. Wodowskazowe zlewnie różnicowe

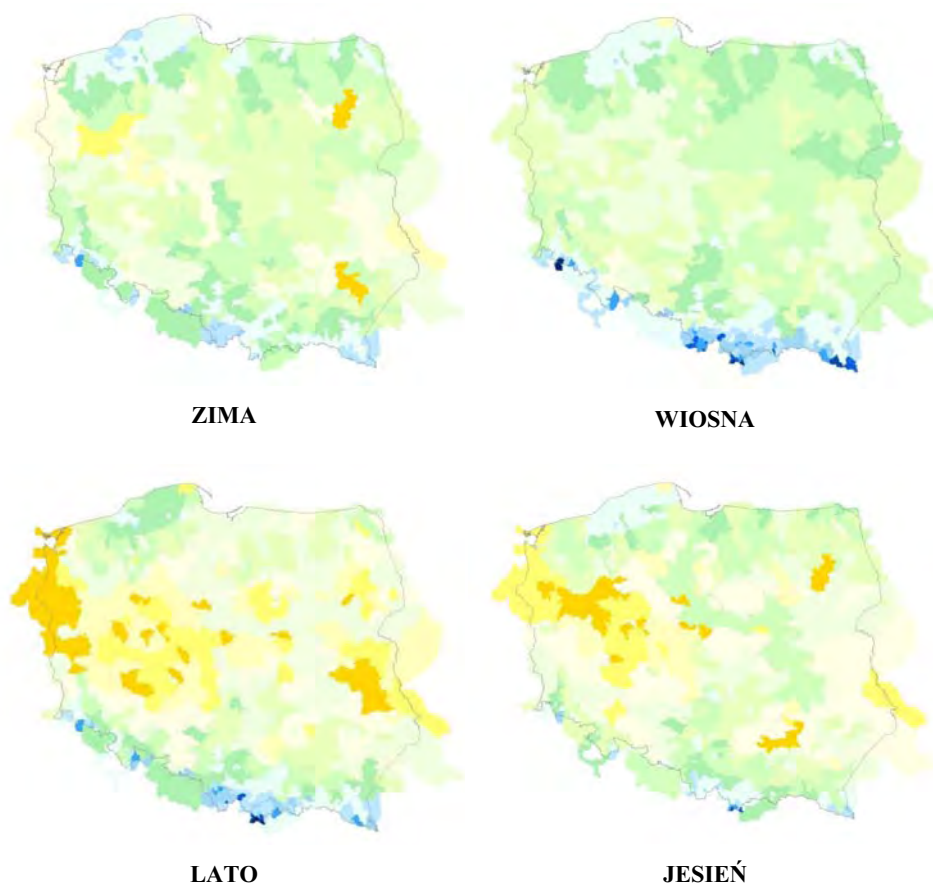
Pokazuje on, że największe odpływy jednostkowe (powyżej  $0,040 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ ) zarejestrowano na obszarach górskich i podgórskich, a także na Pomorzu; najmniejsze – w pasie centralnym, szczególnie w części północno-zachodniej (nawet poniżej  $0,003 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ ).



Rys. 4. Średni roczny odpływ jednostkowy w latach 1971–1990 w wodowskazowych zlewniach różnicowych

Podobne obliczenia wykonano dla charakterystyk średnich przepływów w poszczególnych porach roku (grudzień, styczeń i luty – zima, marzec, kwiecień i maj – wiosna, czerwiec, lipiec, sierpień – lato, wrzesień, październik, listopad – jesień).

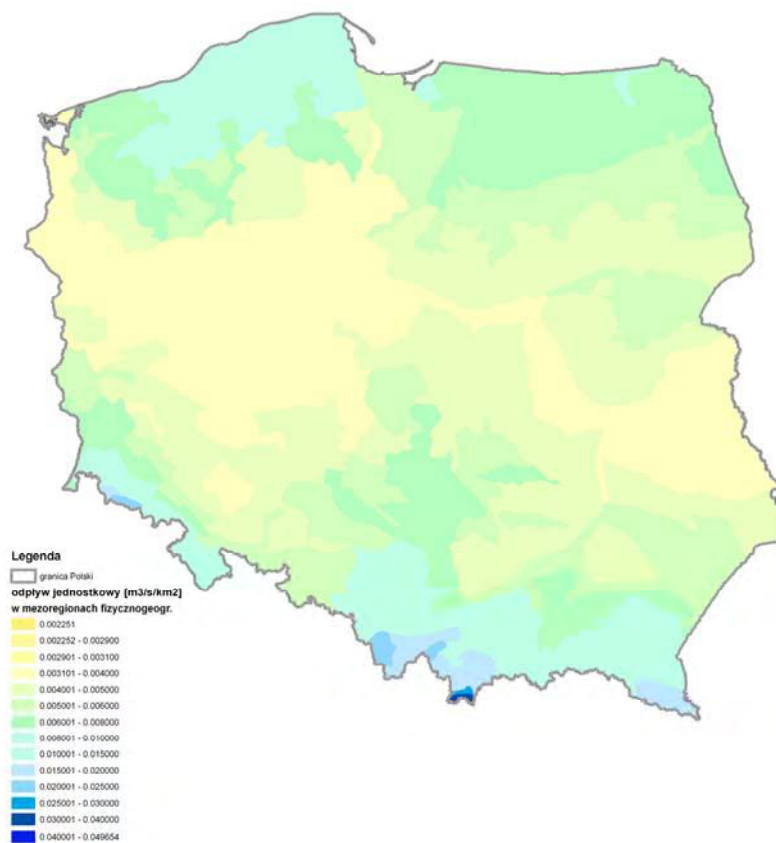
Uzyskano przestrzenne rozkłady odpływu jednostkowego w 20-leciu 1971–1990 dla poszczególnych pór roku (rys. 5).



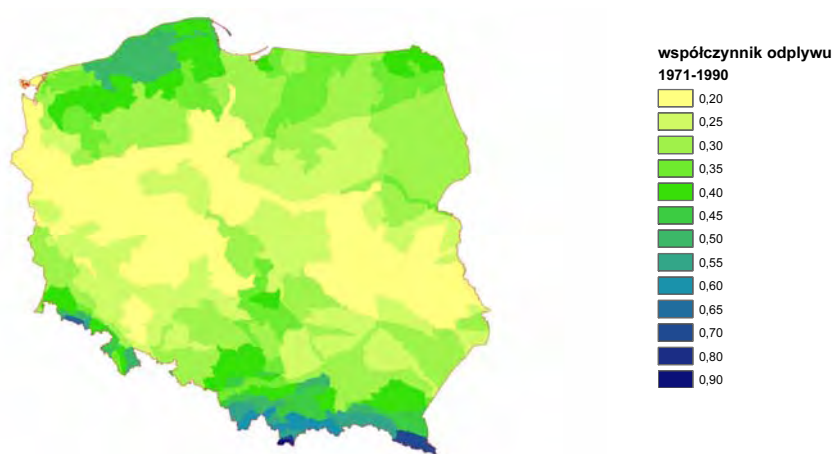
Rys. 5. Odpływ jednostkowy w zlewniach różnicowych w poszczególnych porach roku dwudziestolecia 1971–1990

Powyższe mapy pokazują, że największy odpływ z powierzchni Polski występował na wiosnę, a najmniejszy – w lecie i na jesieni, w górach – w zimie.

Dane o średnim rocznym odpływie w zlewniach różnicowych z 20-lecia 1971–1990 przekształcono z zastosowaniem technologii GIS do obszarów reprezentujących mezoregiony fizycznogeograficzne wg Kondrackiego [2002]. Uśredniono w ten sposób wartości odpływu jednostkowego, będące wynikiem obliczeń na danych pochodzących bezpośrednio z pomiarów do obszarów, które oprócz podziału hydrograficznego uwzględniają także inne cechy terenu, m.in. ukształtowanie terenu, uwarunkowania klimatyczne, podłoże geologiczne, naturalną szatę roślinną. Rezultat przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Odpływ jednostkowy w mezoregionach fizycznogeograficznych



Rys. 7. Współczynnik odpływu

Poprzez stosowanie tych samych przekształceń danych o odpływie jednostkowym w wodowskazowych zlewniach różnicowych można uzyskać rozkład odpływu jednostkowego dla dowolnego obszaru, np. w jednolitych częściach wód wyznaczonych na potrzeby Ramowej Dyrektywy Wodnej.

Na potrzeby określania przyszłych zasobów wodnych wód powierzchniowych, korzystając z danych o opadzie oraz danych o odpływie jednostkowym i stosując algebrę mapy, dostępną w systemie GIS, obliczono wartości współczynnika odpływu w okresie 1971–1990. Jego wartości oraz rozkład przestrzenny dla obszaru Polski przedstawia mapa na rys. 7.

#### **4. Wykorzystanie danych modelowych do określania przyszłych zmian zasobów wód**

##### Zmiana odpływu jednostkowego na podstawie wyników modelu statystyczno-empirycznego

Określenie przyszłych zmian zasobów wód powierzchniowych było istotną częścią pracy w projekcie KLIMAT. Podstawą było wykorzystanie wyników modelowania klimatu w horyzoncie czasowym 2011–2030 przeprowadzonego w zadaniu 1 projektu KLIMAT [Zmiany... 2011]. Wybrano wyniki oparte na danych z modelu globalnego ECHAM-5, które przez wykonawców zadania 1. zostały uznane za bardziej prawdopodobne. Przyszłe zmiany zasobów określono, stosując różne przekształcenia i analizy GIS. Użyto obliczonych za pomocą modelu wartości opadu w dwudziestoleciu referencyjnym i w przyszłych okresach.

Wyniki udostępnionych symulacji statystyczno-empirycznych miały postać plików tekstowych i dotyczyły 54 stacji synoptycznych, których położenie przedstawiono na rys. 8.

Przekształcono kilkadziesiąt plików zawierających nazwę stacji i wartości: sum miesięcznych wysokości opadu dla dwudziestolecia referencyjnego 197–1990 oraz dla dwudziestolecia przyszłego 2011–2030. Wyliczono średnie wartości miesięczne z każdego dwudziestolecia oraz wartości średnie dla półroczy, pór roku i roku dla opadów. Wyliczenia wykonano dla okresu referencyjnego i przyszłego dla trzech scenariuszy klimatycznych. Następnie dane te na podstawie kodu stacji dołączone zostały do punktowej warstwy GIS, przedstawiającej położenie stacji synoptycznych, uzyskując w ten sposób warstwę stacji posiadającą atrybuty.

Warstwy te zostały poddane interpolacji za pomocą krigingu resztowego z wykorzystaniem oprogramowania Surfer. Efektem były pliki tekstowe w postaci  $x, y$  i parametr, gdzie:

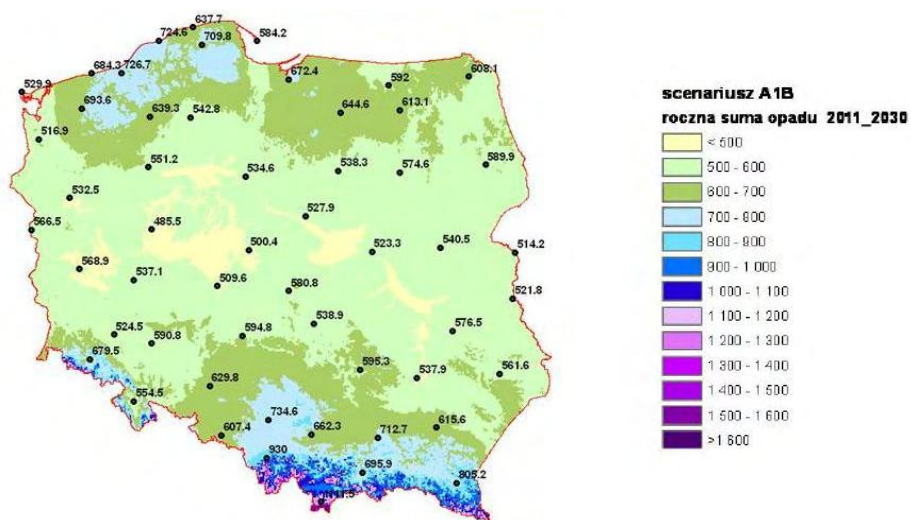
$x$  – dł. geogr. co  $0,02^\circ$ ;

$y$  – szer. geogr. co  $0,02^\circ$ ;

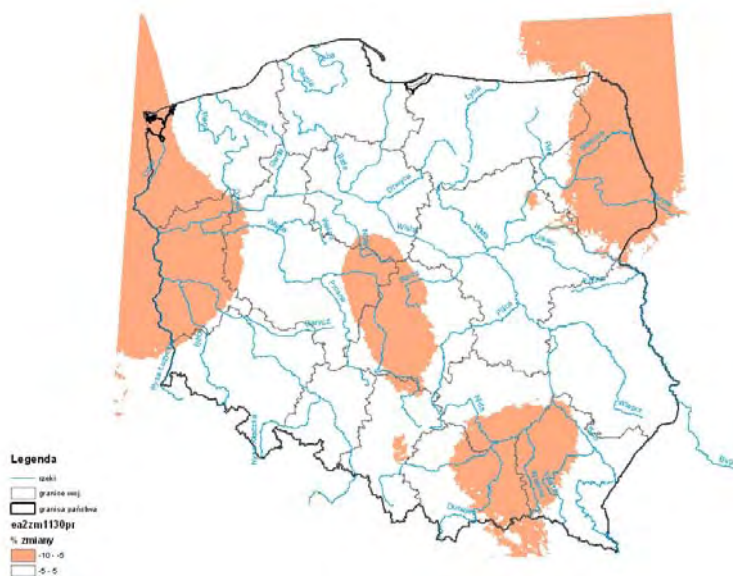
parametr – opad (średnia miesięczna, sezonowa, półroczna, roczna).

Na podstawie tych zbiorów utworzono gridy opadu o rozdzielczości  $0,02^\circ$ , na które nałożone punkty siatki  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ . Wykorzystano narzędzie pakietu Ar-

cGIS o nazwie *statystyka strefowa* do obliczenia wartości opadu dla punktów siatki. Przykładowy efekt przekształceń i obliczeń dla scenariusza A1B i rocznej sumy opadu przedstawiono na rys. 8.

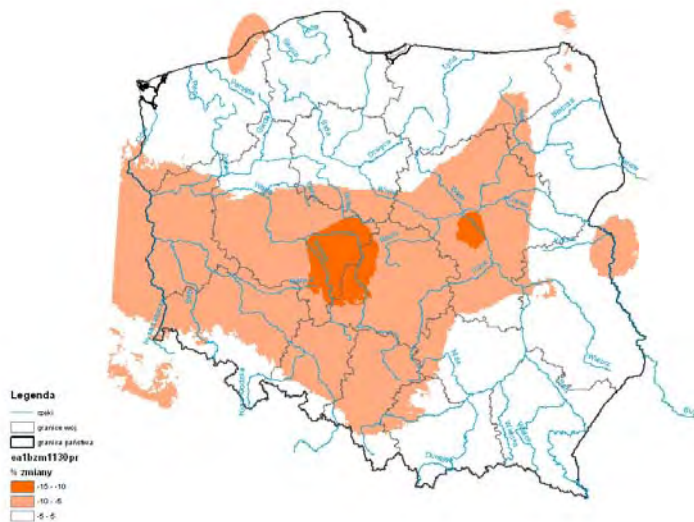


Rys. 8. Warstwa punktowa stacji synoptycznych i grid rocznej sumy opadu o rozdzielczości 10 km x 10 km dla scenariusza A1B



Rys. 9. Procentowa zmiana odpływu w latach 2011–2030 w stosunku do okresu 1971–1990 dla scenariusza A2





Rys. 10. Procentowa zmiana odpływu w latach 2011–2030 w stosunku do okresu 1971–1990 dla scenariusza A1B

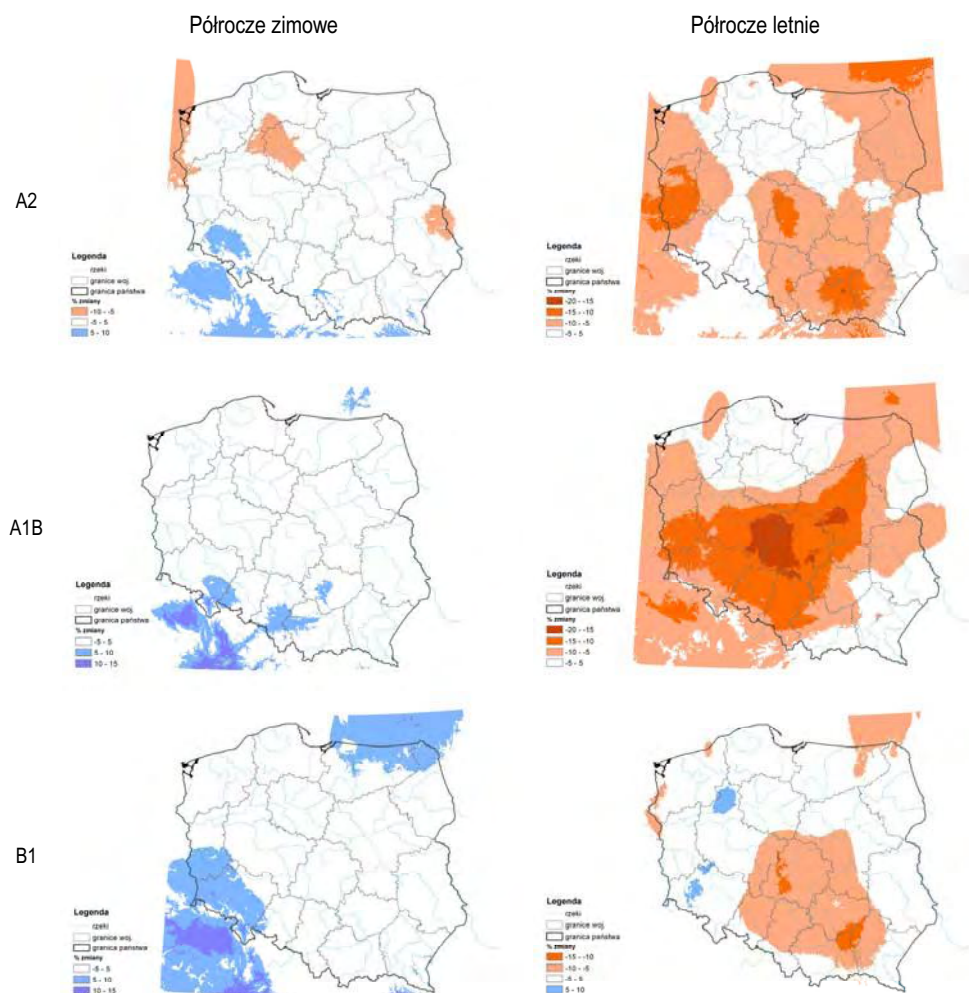


Rys. 11. Procentowa zmiana odpływu w latach 2011–2030 w stosunku do okresu 1971–1990 dla scenariusza B1

Tak uzyskany zestaw danych gridowych dla poszczególnych horyzontów czasowych i scenariuszy był podstawą obliczenia procentowych zmian odpływu w przyszłym okresie z zastosowaniem narzędzi algebry mapy. Do obliczeń wykorzystano grid ze współczynnikami odpływu dla okresu referencyjnego opisany wcześniej (rys. 5). W rezultacie otrzymano zestaw wyników w postaci gridów reprezentujących procentowe zmiany dla średniego rocznego odpływu jednostkowe-

go oraz dla dwóch półroczy – zimowego (od listopada do kwietnia) i letniego (od maja do października). Mapy prezentujące te zmiany przedstawiono na rys. 9–12.

Przedstawione wyniki nie pokazują istotnych zmian zasobów wód powierzchniowych w okresie 2011–2030. Spadek dla średnich rocznych wartości w scenariuszach A2 i B1 nie przekracza 10%, a w scenariuszu A1B – 15%. Nie ma też istotnych wzrostów średnich rocznych, jedynie dla scenariusza B1 w południowo-zachodniej części Polski model sugeruje wzrost do 15%. Analiza zmian dla półroczy zimowego i letniego sugeruje, że większe zmiany mogą wystąpić w rozkładzie czasowym. W każdym ze scenariuszy można wyróżnić obszary o wzroście zasobów w półroczu zimowym do 10% oraz o spadku w półroczu letnim, największe – do 20% w scenariuszu A1B w centralnej części pasa nizin środkowopolskich.



Rys. 12. Zmiany zasobów wód powierzchniowych w latach 2011–2030 w półroczu zimowym i letnim

### Zmiana odpływu jednostkowego na podstawie wyników modelowania RegCm dla wybranych zlewni

Do celów modelowania dla wybranych zlewni pilotowych obliczono miesięczne, sezonowe, półroczne i roczne zmiany wartości odpływu jednostkowego z wyników modelowania dynamicznego RegCM. Z parametrów wyjściowych wybrano odpływ powierzchniowy oraz odpływ gruntowy, które razem składają się na całkowity odpływ powierzchniowy [Biosphere... 1993]. Dane te zostały włączone do oprogramowania GIS w celu przeprowadzenia analiz przestrzennych zmierzających do uzyskania wielkości zmian odpływu jednostkowego dla poszczególnych scenariuszy klimatycznych. Uzyskano 15 gridów zawierających informacje o procentowej zmianie odpływu jednostkowego w siatce modelu klimatycznego (0,37° dł. geogr. ; 0,23° szer. geogr. , tj. ok. 25 km) dla średniej rocznej wartości i średnich dla pór roku oraz warstwy shape zawierające zmiany procentowe odpływu jednostkowego dla wszystkich miesięcy. Przykładowe wyniki pokazujące zmianę odpływu jednostkowego dla zlewni Supraśli znajdują się w tab. 4.

Tab. 4. Uśrednione procentowe zmiany odpływu jednostkowego dla Supraśli wg modelowania RegCM

	A1B	A2	B1
Miesiąc	% zmiany	% zmiany	% zmiany
01	11	15	15
02	15	-16	21
03	-9	6	1
04	50	39	44
05	17	-5	7
06	1	-11	-1
07	8	19	24
08	1	19	25
09	4	-15	36
10	23	6	26
11	0	-21	-12
12	-2	-5	4
Średnia roczna	10	3	16

Dane te mogą być wykorzystane do symulacji w modelach jako wartości wejściowe, określające przyszłe parametry hydrologiczne zlewni.

### Założenia i uproszczenia dotyczące przyszłych zmian klimatu w okresie 2011–2030

Projekcje i modele zmian klimatu bazują na wielu założeniach i uproszczeniach, dlatego wyniki są obciążone w różnym stopniu niepewnością. Według euro-



pejskich badań, jej źródła, z punktu widzenia badań nad oddziaływaniami klimatu, można podzielić na dwie kategorie:

- niepewność wynikająca z niekompletnej wiedzy na temat badanego systemu (np. na skutek błędów pomiaru lub uproszczeń formuł modelu);
- niepewność integralnie związana z badanym systemem (np. na skutek chaotyczności klimatu globalnego lub systemu społeczno-gospodarczego).

W przypadku określania zmian zasobów wód powierzchniowych pod wpływem zmian klimatu w Projekcie przyjęto również szereg założeń upraszczających. Przy określaniu przyszłych zmian zasobów wód powierzchniowych na podstawie hipotetycznych zmian opadu z modelu statystyczno-empirycznego przyjęto, że zależność między opadem a odpływem, wyrażona we współczynniku odpływu, będzie podobna do tej z okresu referencyjnego. Założenie to jest oparte na dwóch przesłankach – niewielkiej zmianie temperatury w przyszłym okresie oraz podobnej do dotychczasowej strukturze użytkowania terenu. Scenariusz wiązkowy opracowany i przedstawiony w raporcie z zadania 1. [Zmiany... 2010] wskazuje, że średnia roczna temperatura powietrza w Polsce w latach 2011–2030 nie zmieni się znacząco w stosunku do okresu referencyjnego. Dla scenariuszy B1 i A2 zmiany nie przekroczą  $0,05^{\circ}\text{C}$ , a dla scenariusza A1B –  $0,15^{\circ}\text{C}$ .

Z kolei model dynamiczny RegCM, wg którego określano zmiany odpływu jednostkowego dla zlewni modelowych przyjmował, że na terenie Polski są dwa dominujące typy użytkowania terenu: rolnicze oraz lasy. Dodatkowo, przy wykonywaniu obliczeń modelowych dla 20-lecia 2011–2030 założono, że użytkowanie nie zmieni się. Wydaje się, że w krótkim horyzoncie czasowym można takie założenie przyjąć. Krajowy program zalesienia do roku 2030 zakłada, że lasy będą obejmować 30% powierzchni Polski; obecnie jest to – 29%. Badania w europejskim projekcie CORINE pokazują, że w okresie od 2000 do 2006 r. użytkowanie terenu w Polsce w istotny sposób zmieniło się na powierzchni ok. 0,5% kraju, a więc zmiany postępują dość wolno.

## **5. Podsumowanie**

Obecne zasoby wód powierzchniowych określono obszarowo przez odpływ jednostkowy na podstawie danych z opracowania pomiarów prowadzonych w ramach Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej. Rozkład obszarowy odpływu jednostkowego określono na podstawie danych z 530 wodowskazów dla 20-lecia 1971–1990, będącego okresem referencyjnym dla projektu KLIMAT.

Prognozę stanu zasobów wód dla lat 2011–2030 opracowano na podstawie scenariuszy zmian warunków pluwialnych, uzyskanych w zadaniu 1. Projektu. Rezultaty przedstawiono w postaci procentowych zmian odpływu jednostkowego w stosunku do okresu referencyjnego, dla trzech z opracowanych przez IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Międzyrządowy Panel ds. Zmian Klimatu) scenariuszy emisyjnych: A2, A1B oraz B1.

Dla wybranych zlewni: Wełny, Supraśli oraz Białej Tarnowskiej opracowano warstwy shape, zawierające miesięczne dane o zmianie odpływu jednostkowego. Skorzystano z wyników modelowania dynamicznego RegCM.

Wszystkie analizy oraz mapy wykonano z zastosowaniem technologii GIS. Wyniki obliczeń uśredniono dla: scalonych części wód powierzchniowych oraz podprowincji fizycznogeograficznych. Baza danych o zasobach jest przechowywana w postaci gridowej, tj. w regularnej siatce punktów.

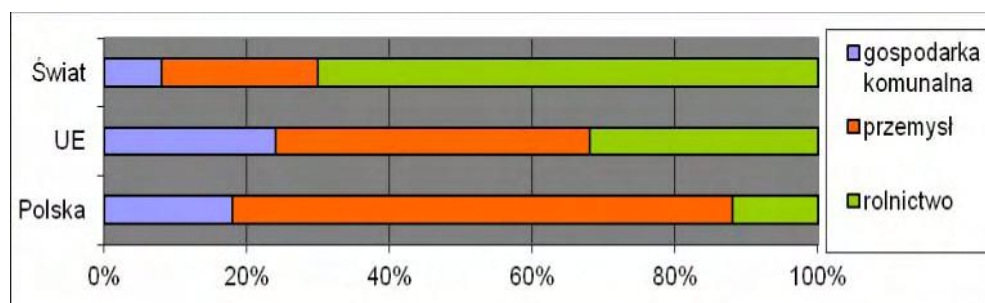
Wyniki obliczeń nie sugerują istotnych zmian zasobów wodnych w bliskiej przyszłości. Pokazują, że zmiany reżimu opadów dotyczyć będą głównie rozkładu czasowego opadów, przy niewielkich zmianach wartości średnich rocznych. Biorąc jednak pod uwagę, że obszar naszego kraju jest stosunkowo ubogi w wodę, zmiany te mogą być przyczyną problemów na obszarach, na których wskaźnik wykorzystania zasobów wodnych już dzisiaj jest wysoki.

# Potrzeby wodne gospodarki i prognoza ich zmian

Celina Rataj, Tomasz Walczykiewicz,  
Renata Bogdańska-Warmuz, Łukasz Woźniak, Joanna Wróbel,  
Barbara Zientarska

## 1. Wielkość poborów wody według województw w 2007 r. z uwzględnieniem potrzeb poszczególnych sektorów

Woda jest niezbędna do zaspokojenia potrzeb ludności, rolnictwa i leśnictwa oraz przemysłu<sup>9</sup>.



Rys. 1. Struktura poboru wody w 2000 r. [Flörke, Alcamo 2004]

W Polsce najczęściej wody używa się w energetyce (ok. 60%). Przetwórstwo przemysłowe – ok. 8%, a rolnictwo i leśnictwo – ok. 10% wody. Pozostałą ilość – ok. 20% wykorzystuje gospodarka komunalna.

Struktura zużycia wody w innych krajach UE znacznie odbiega od struktury w Polsce. Największe różnice zauważa się w rolnictwie i energetyce – zużywane jest znacznie więcej wody niż w naszym kraju, a w przetwórstwie przemysłowym ilość jest podobna do tej w Polsce.

<sup>9</sup> Przemysł to przetwórstwo przemysłowe i energetyka. Przetwórstwo przemysłowe – działalność wytwórcza, przez którą rozumie się fizyczne lub chemiczne przetwarzanie surowców, materiałów lub półproduktów w nowy wyrób.

W poszczególnych województwach struktura poboru wody jest bardzo zróżnicowana. Na cele przemysłowe zużywa się od 13% (woj. lubuskie) do 93% (woj. zachodniopomorskie) zasobów. Odsetek wody przeznaczonej na cele rolnicze waha się od 1% (woj. zachodniopomorskie) do 43% (woj. lubelskie). Na cele komunalne dla poszczególnych województw zużywa się od 5% (woj. świętokrzyskie) do 52% (woj. warmińsko-mazurskie).

Najwięcej wody pobiera się w województwie mazowieckim (3000 hm<sup>3</sup>), wielkopolskim (1850 hm<sup>3</sup>), zachodniopomorskim (1700 hm<sup>3</sup>), świętokrzyskim (1150hm<sup>3</sup>). W tych województwach są zlokalizowane największe elektrownie: Kozienice, Konin, Pątnów, Adamów, Dolna Odra i Połaniec, które pobierają bardzo dużo wody na cele chłodnicze.

Do zaspokojenia potrzeb **gospodarki komunalnej** niezbędna jest woda o najlepszej jakości. Wymaga ona uzdatniania, co jest procesem energochłonnym i kosztownym, ponieważ wymaga budowy i utrzymania specjalistycznych instalacji wodnokanalizacyjnych. Najważniejszymi czynnikami kształtującymi wielkość komunalnych potrzeb wodnych są: zużycie wody w przeliczeniu na osobę, liczba ludności, wielkość strat wody w sieci oraz stopień zwodociągowania. Analiza danych z ostatniego 10-lecia w Polsce pozwala stwierdzić, że maleje zużycie wody w przeliczeniu na osobę, maleje liczba ludności kraju, maleje wielkość strat wody w sieci, a zwiększa się stopień zwodociągowania głównie w województwach, w których dotychczas ten wskaźnik był niski.

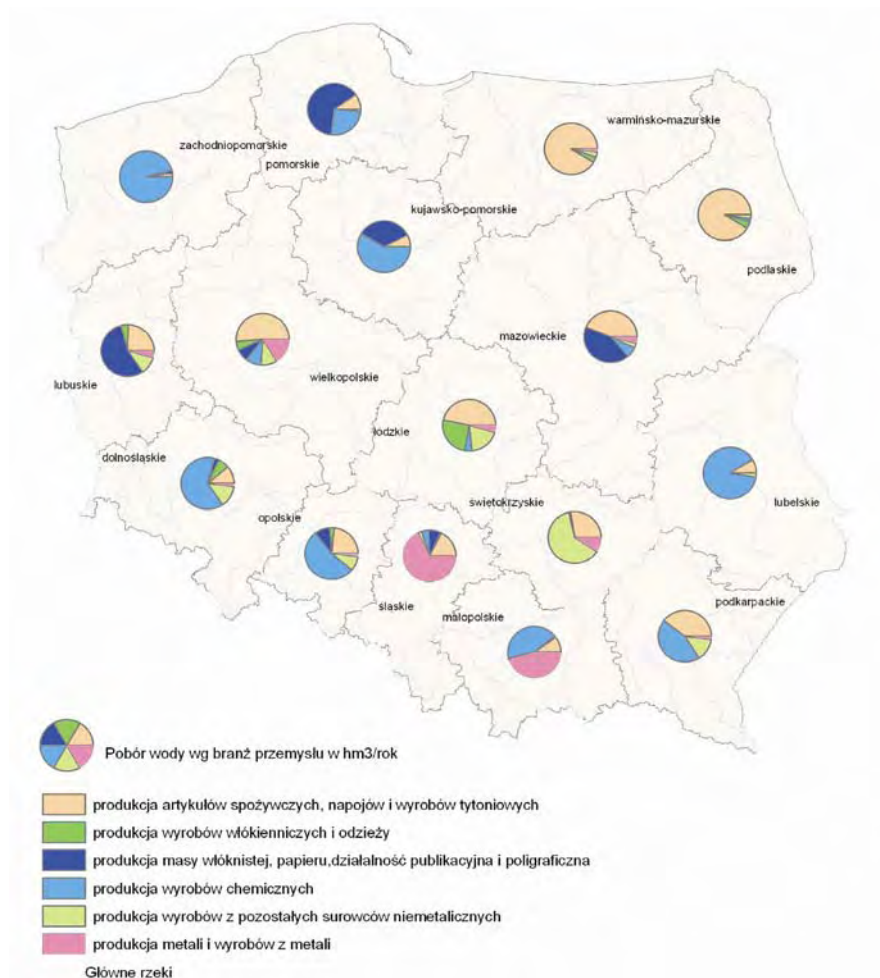
Wielkość poborów wody dla sieci wodociągowej w Polsce wynosi ok. 2090 hm<sup>3</sup>. Największe ilości są pobierane w województwie śląskim, mazowieckim i wielkopolskim. Najmniejsze – w województwie opolskim, lubuskim i świętokrzyskim. Przeważająca ilość wody na cele wodociągowe jest pobierana z zasobów wód podziemnych. Jedynie w 4 województwach (małopolskim, śląskim, podkarpackim i mazowieckim) udział poboru z wód powierzchniowych jest większy niż 50 %.

W Polsce w gospodarstwach domowych zużycie wody na mieszkańca to ok. 100 l/dobę. W krajach europejskich w 2000 r. jednostkowe zużycie wody w gospodarce komunalnej kształtowało się od ok. 90 l/dobę/mieszkańca dla Litwy do ok. 270 l/dobę/mieszkańca dla Hiszpanii.

**Przetwórstwo przemysłowe** zużywa ok. 8% całej wody. Podobnie kształtuje się średnia dla wszystkich krajów UE. Zgodnie z obowiązującą w UE i w Polsce klasyfikacją rodzajów działalności, przetwórstwo przemysłowe jest pogrupowane w podsekcjach, a sześć z nich zużywa ponad 80% wody. Te najbardziej wodochłonne to:

- produkcja wyrobów chemicznych (390 hm<sup>3</sup>/rok);
- produkcja artykułów spożywczych, napojów i wyrobów tytoniowych (110 hm<sup>3</sup>/rok);
- produkcja masy włóknistej, papieru, działalność publikacyjna i poligraficzna (90 hm<sup>3</sup>/rok);
- produkcja metali i wyrobów z metali (60 hm<sup>3</sup>/rok);

- produkcja wyrobów z pozostałych surowców niemetalicznych (24 hm<sup>3</sup>/rok);
- produkcja wyrobów włókienniczych i odzieży (8 hm<sup>3</sup>/rok).



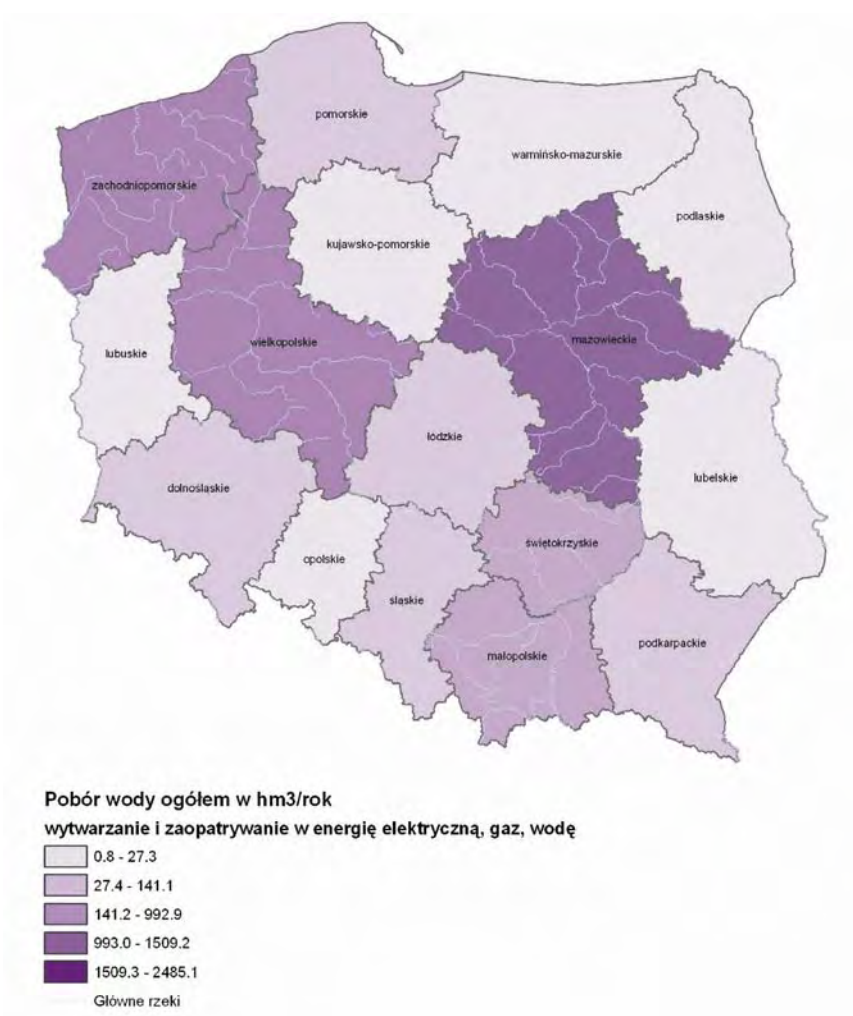
Rys. 2. Struktura poborów wody w województwach na potrzeby sześciu najbardziej wodochłonnych podsekcji przemysłu [Opracowanie... 2011]

Wśród wymienionych podsekcji najwięcej wody wykorzystuje się do produkcji wyrobów chemicznych. Ponad trzykrotnie mniej zużywa przemysł spożywczy. Pozostałe cztery podsekcje zużywają ok. półtorakrotnie więcej wody niż przemysł spożywczy.

W przemyśle największe ilości wody są wykorzystywane do **wytwarzania i zaopatrywania w energię elektryczną, gaz i wodę**. Jest to głównie woda przeznaczana do celów chłodniczych. Poza podwyższeniem temperatury ma ona niezmienny stan chemiczny i szybko wraca do środowiska. Jednak podwyższona

temperatura i pobieranie bardzo dużych ilości wody ma bardzo istotny wpływ na kształtowanie życia biologicznego w rzekach.

Z ogólnej ilości wody pobieranej na cele rolnicze (1122 hm<sup>3</sup>) w Polsce tylko ok. 9% stanowi woda do nawodnień użytków rolnych i gruntów leśnych. Nawadnianie jest 0,42% powierzchni. Od lat 80. powierzchnia nawadniana zmniejszyła się niemal czterokrotnie. W krajach Unii Europejskiej na potrzeby rolnictwa pobiera się większe ilości wody niż w Polsce, co wynika z uwarunkowań klimatycznych. W Grecji 80% poboru jest przeznaczane do nawodnień, w Hiszpanii – 72, a we Włoszech i Portugalii – ok. 60%.



Rys. 3. Pobór wody z zasobów wód powierzchniowych do zaopatrywania województw w energię elektryczną, gaz, wodę [Opracowanie... 2011]

## **2. Analiza dostępnych źródeł danych i przesłanek wskazujących na możliwe trendy potrzeb wodnych w badanych działach gospodarki Polski z uwzględnieniem wpływu zmian klimatu na wielkość tych potrzeb**

Podstawowym źródłem danych i przesłanek do opracowania możliwych trendów przyszłych potrzeb wodnych były dane pozyskane z Banku Danych Regionalnych, roczników ochrony środowiska i roczników statystycznych RP. Analizowano również szereg opracowań wskazujących na możliwości wprowadzenia zmian technologicznych, wpływających na wielkość potrzeb wodnych. Ważnym źródłem były opracowania GUS-u dotyczące prognozy liczby ludności w województwach. Korzystano także z danych narodowych urzędów statystycznych kilku państw UE. Uwzględniono prognozy dotyczące potrzeb wodnych różnych sektorów gospodarki opracowane dla Polski przez EUROSTAT (Flörke, Alcamo 2004).

Za bazowe można uznać materiały opracowane przez ekspertów z różnych dziedzin w ramach warsztatów zorganizowanych przez ZGWiSW na temat scenariuszy rozwoju gospodarki oraz założeń dotyczących gospodarki wodnej Polski do 2030 r. Scenariusze emisyjne opracowane przez ekspertów Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu (IPCC) były podstawą tych analiz.

Analiza uwzględniała rządowe dokumenty w zakresie rozwoju energetyki m.in. *Polityka energetyczna Polski do 2030 r.* wraz z załącznikami oraz inne opracowania na temat rozwoju energetyki jądrowej, odnawialnych źródeł energii i innych paliw. Analizowano również zapisy narodowej strategii gospodarowania wodami oraz *Eksperski projekt koncepcji przestrzennego zagospodarowania kraju do roku 2033*. Dla określenia perspektyw rozwojowych rozpatrywano strategię rozwoju wybranych województw. Uwzględniono opracowania europejskie i dokumenty rządowe dotyczące perspektyw oraz strategii rozwoju rolnictwa i potrzeb wodnych tego sektora [Iglesias i in. 2007, Strategia... 2005]. W analizach dotyczących przetwórstwa przemysłowego oparto się na materiałach dotyczących obecnej lokalizacji zakładów przemysłowych oraz perspektyw i planów rozwoju infrastruktury transportowej. Zapoznano się z opracowanymi przez specjalistów materiałami branżowymi dotyczącymi wodochłonności, stosowanych technologii produkcji. Analizowano opracowania popularyzujące oszczędzanie wody w gospodarstwach domowych i sektorze komunalnym.

Korzystano z oceny ekspertów Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie [Analiza... 2011].

## **3. Przyjęte metodyki badań dla określenia potrzeb wodnych w badanych działach gospodarki Polski**

Dla określenia granic niepewności przy ocenie przyszłych potrzeb wodnych opracowano warianty, w których podjęto próbę wskazania możliwych wartości ekstremalnych.

Ze względu na zróżnicowany charakter i sposoby zaspokojenia potrzeb wodnych dla każdego rodzaju działalności opracowano odrębne metodyki.

## Gospodarka komunalna

Głównym założeniem metodyki przyjętej do określenia potrzeb wodnych gospodarki komunalnej w 2030 r. było obliczenie ich jako iloczynu zużycia wody przez 1 mieszkańca, prognozowanej liczby ludności korzystającej z sieci wodociągowej i przyjętego współczynnika strat wody w sieci. Obliczenia wykonano z uwzględnieniem gospodarstw domowych i całej gospodarki komunalnej. Potrzeby wodne określono dla trzech scenariuszy, z uwzględnieniem wariantu ekologicznego, w którym założono dużą dbałość o środowisko i tym samym ograniczenie potrzeb wodnych, a także mniej restrykcyjnego wariantu dynamicznego. Przyjęto cztery parametry kształtujące potrzeby wodne według danych zawartych w tabeli poniżej. W poszczególnych wariantach zróżnicowano zużycie wody na osobę oraz straty wody w sieci. Pozostałe parametry w obu wariantach pozostawiono bez zmian, a zróżnicowano je w województwach. Przed przystąpieniem do obliczeń powyższe dane skonsultowano ze specjalistami od zaopatrzenia ludności w wodę.

Tab. 1. Parametry niezbędne do określenia komunalnych potrzeb wodnych [Opracowanie... 2011]

Parametry	Wariant ekologiczny			Wariant dynamiczny		
	Scenariusz					
	A2 regionalny	A1B rynkowy	B1 zrównoważony	A2 regionalny	A1B rynkowy	B1 zrównoważony
Zużycie wody (l/osoba/doba)	110	120	105	160	170	150
Współczynnik strat wody w sieci (%)	17	15	12	20	17	15
Średni % ludności korzystającej z sieci wodociągowej	90	92	97	90	92	97
Średni % zmian liczby ludności	-4	-2,5	-4	-4	-2,5	-4

## Przetwórstwo przemysłowe

Ilość wody zużytej w przetwórstwie przemysłowym zależy od wielkości produkcji i procesu technologicznego. Wielkość produkcji można mierzyć ilością wyprodukowanych dóbr albo ich wartością. Wobec różnorodności dóbr wytwarzanych przez przemysł trudno jest posługiwać się ilością, więc lepszym miernikiem jest ich wartość. Do analiz wzrostu gospodarczego można posługiwać się wartością dodaną, którą „tworzą: praca, zainstalowany w przedsiębiorstwach kapitał, technologia, wiedza i zarządzanie”<sup>10</sup>. Suma wartości dodanej poszczególnych branż powiększona o podatki nałożone przez państwo daje produkt krajowy brutto – PKB.

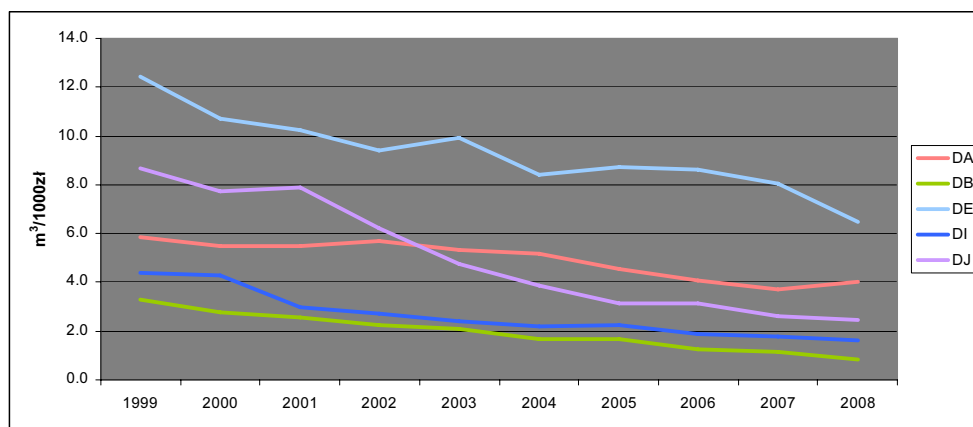
<sup>10</sup> W. M. Orłowski, Newsweek Polska, 51–51/2011.



Opracowane przez EUROSTAT wskaźniki wzrostu wartości dodanej dla nowych państw UE posłużyły do obliczenia tej wielkości w 2030 r. dla trzech scenariuszy, z uwzględnieniem wariantu eksperckiego i modelowego. W obu założono prostą zależność aktualnej wartości dodanej oraz aktualnych poborów wody i przeniesiono ją na wartość dodaną zaprognozowaną na 2030 r. [Flörke, Alcamo 2004].

W **wariantcie eksperckim** potrzeby wodne poddano ocenie eksperckiej we wszystkich województwach i wg trzech scenariuszy. W ekspertyzie starano się uwzględnić: istniejącą bazę surowcową, możliwości otwarcia na krajowe i zagraniczne rynki zbytu, istniejącą i planowaną bazę techniczną, stosowanie obecnie nowoczesnych technologii produkcyjnych i inwestowanie w rozwój nauki, a także kadre specjalistów. Powyższe czynniki zagregowano do dwóch wskaźników: wielkość produkcji i rozwiązania technologiczne. Dla każdego województwa określono wskaźnik rozwoju korygujący pobór wody przy zadanym scenariuszu.

**Wariant modelowy** oparto głównie na obliczeniach. Wartość dodaną w 2030 r. określono podobnie jak w wariantcie eksperckim. Jednocześnie zbadano trend wodochłonności ( $m^3$ wody/1000zł wartości dodanej) w Polsce w okresie 1999–2008. W badanym 10-leciu wskaźnik wodochłonności w Polsce zmniejszył się od ok. 23% w produkcji wyrobów chemicznych do 75% w produkcji wyrobów włókienniczych i odzieży.



Rys. 4. Trend wodochłonności wybranych podsekcji przemysłu przetwórczego [Opracowanie... 2011]

Na podstawie tak określonego trendu obliczono wskaźnik wodochłonności dla 2030 r. Jednocześnie opracowano identyczny wskaźnik dla kilku państw UE uznanych za liderów.

Wielkość prognozowanych poborów wody obliczono jako wypadkową wartości dodanej oraz wodochłonności określonej dla Polski na 2030 r. i obecnej wodochłonności – dla liderów UE, dobierając wskaźniki w zależności od przyjętego scenariusza.

## Górnictwo i kopalnictwo

Podstawowymi założeniami metodyki obliczenia obecnych i przyszłych potrzeb wodnych był związek między wydobyciem surowców a wielkością produkcji w podsekcjach przetwórstwa przemysłowego bazującego na tych surowcach. Na tej podstawie określono przyszłą wielkość wydobycia, a wodochłonność określono badając trend, podobnie jak w analizach przetwórstwa przemysłowego.

## Energetyka

Prognozę potrzeb wodnych w sektorze energetycznym opracowano dla trzech scenariuszy rozwoju gospodarczego: rynkowego A1B, zrównoważonego B1 i regionalnego A2 oraz dwóch wariantów. Prognozy są zróżnicowane ze względu na wartość mocy wytwórczych energii elektrycznej brutto [MW] w 2030 r., strukturę nośników energii, a także technologię chłodzenia zgodną z wizją poszczególnych scenariuszy. W ramach scenariusza rynkowego przyjęto wartość i strukturę mocy wytwórczych energii elektrycznej brutto określone jako *scenariusz rządowy* w dokumentach Ministerstwa Gospodarki [Prognoza... 2009]. Następne scenariusze zbudowano w oparciu na scenariuszu rynkowym – w zależności od założonej wizji rozwoju w danym scenariuszu – przyjęto odpowiednią wartość mocy i strukturę nośników energii:

- w scenariuszu rynkowym A1B, zgodnie z rządową prognozą, przyjęto wartość mocy wytwórczych energii elektrycznej brutto na poziomie 51,4 tys. MW, a w strukturze nośników energii zwiększy się udział OZE (przede wszystkim energetyki wiatrowej), gazu; prognozowane jest wprowadzenie paliwa jądrowego oraz spadek udziału węgla kamiennego i brunatnego,
- w scenariuszu zrównoważonym B1, wartość mocy wytwórczych przyjęto na poziomie 49 tys. MW, co będzie wynikać z prośrodowiskowej polityki i promowania w większym stopniu energooszczędnych technologii, co skutkować będzie mniejszym zapotrzebowaniem na energię. Strukturę nośników energii przyjęto taką, jak w scenariuszu A1B,
- w scenariuszu regionalnym A2, wartość mocy wytwórczych określono na 47 tys. MW – z uwagi na powolniejszy rozwój założony w tym scenariuszu. Przyjęto strukturę nośników energii podobną do obecnej. Będzie dominować węgiel kamienny i brunatny, a w związku z prognozowanym wzrostem zapotrzebowania na energię założono większy niż obecnie udział węgla w strukturze nośników energii i powolne wdrażanie OZE, co będzie skutkowało mniejszym ich udziałem niż w przypadku dwóch poprzednich scenariuszy.

Warianty różnią się między sobą stopniem wykorzystania technologii chłodzenia (tab. 2.) i uwzględniają możliwość zmiany otwartych obiegów chłodniczych na obiegi zamknięte. Zmiana ta pozwoliłaby na znaczne ograniczenie zużycia wody w sektorze energetycznym.

Wariant ekologiczny zakłada najmniejsze zapotrzebowanie na wodę w poszczególnych scenariuszach. W zależności od scenariusza, w wariantcie tym szacuje się domknięcie od 30% do 100% obiegów chłodniczych w stosunku do 2007 r.

Przyjęto, że całkowite zamknięcie wszystkich obiegów chłodniczych będzie najbardziej prawdopodobnym rozwiązaniem w scenariuszu zrównoważonym. Powodem tego będzie zakładane w tym scenariuszu restrykcyjne podejście do ochrony środowiska oraz możliwe zmiany klimatyczne.

Tab. 2. Charakterystyka wariantów dla 3 scenariuszy rozwoju gospodarczego [Opracowanie... 2011]

Wariant	Scenariusz		
	rynkowy A1B	zrównoważony B1	regionalny A2
Wariant ekologiczny	70% obiegów chłodniczych bez zmian technologii chłodzenia, 30% stanowią zamknięte obiegi chłodzenia	100% stanowią zamknięte obiegi chłodzenia	70% obiegów chłodniczych bez zmian technologii chłodzenia, 30% stanowią zamknięte obiegi chłodzenia
Wariant dynamiczny	Bez zmian technologii chłodzenia	Bez zmian technologii chłodzenia	Bez zmian technologii chłodzenia

Wariant dynamiczny zakłada, że technologia chłodzenia nie zmieni się i w perspektywie 2030 r. będą stosowane systemy chłodzenia takie jak obecnie, głównie obiegi otwarte.

#### Rolnictwo

Do określenia przyszłych potrzeb wodnych w sektorze rolnictwa i leśnictwa wykorzystano analizy ekspertów w zakresie potrzeb wodnych związanych z produkcją upraw energetycznych, a także analizy rozwoju melioracji i nawodnień ciśnieniowych na potrzeby rolnictwa w Polsce. Uwzględniono też prognozy potrzeb wodnych w sektorze rolnictwa opracowane przez ekspertów europejskich.

Według nich zmiany klimatyczne mogą wpłynąć na znaczne zwiększenie potrzeb w zakresie nawadniania [Karaczun, Wójcik 2009]. Zapotrzebowanie na wodę do nawodnień, ze względu na wzrost produkcji biomasy na cele energetyczne, może ulec zwiększeniu, ponieważ rośliny energetyczne wymagają więcej wody niż tradycyjne rolnicze rośliny uprawne [Kowalik, Scalenghe 2009]. W Polsce obszar gleb zajęty przez rośliny energetyczne może się zwiększyć 50-krotnie w okresie 2007–2015 r. W perspektywie kolejnych dekad można spodziewać się następnych wzrostów produkcji biomasy oraz potrzeb wodnych do nawodnień upraw.

Według polskich ekspertów w zakresie melioracji użytków rolnych [Zarys... 2008], w Polsce nie przewiduje się budowy nowych melioracji. Zakłada się jednak rozwój systemów doprowadzania i rozrządu wody, głównie do nawodnień ciśnieniowych gruntów ornych, sadów i upraw warzywnych oraz przyrost liczby obiektów małej retencji wodnej.

## **4. Ocena potrzeb wodnych w 2030 r.**

### Gospodarka komunalna

W wyniku obliczeń oszacowano potrzeby wodne gospodarstw domowych i gospodarki komunalnej w 2030 r., z uwzględnieniem podziału na województwa.

Zapotrzebowanie na wodę dla gospodarki komunalnej (tab. 3.) w 2030 r. w stosunku do 2007 r. będzie:

- dla wariantu ekologicznego większe – od 2 do 15%. W województwie łódzkim i zachodniopomorskim jest nawet możliwy nieznaczny spadek potrzeb wodnych w scenariuszu regionalnym (A2) i zrównoważonym (B1);
- dla wariantu dynamicznego większe – od ok. 50 do 70%.

W obu wariantach największy wzrost komunalnych potrzeb wodnych jest prognozowany w województwach o obecnie najniższym stopniu zwozdogotowania, to jest w województwie podkarpackim, świętokrzyskim i małopolskim.

Tab. 3. Przyszłe komunalne potrzeby wodne. [Opracowanie... 2011]

Scenariusz		Potrzeby wodne w 2030 r.	Przyrost potrzeb w 2030r. w stosunku do 2007r.	
		(hm <sup>3</sup> /rok)		(%)
Wariant ekologiczny	A1B	2403	317	15
	A2	2158	72	3
	B1	2126	40	2
Wariant dynamiczny	A1B	3488	1403	67
	A2	3132	1046	50
	B1	3118	1032	49

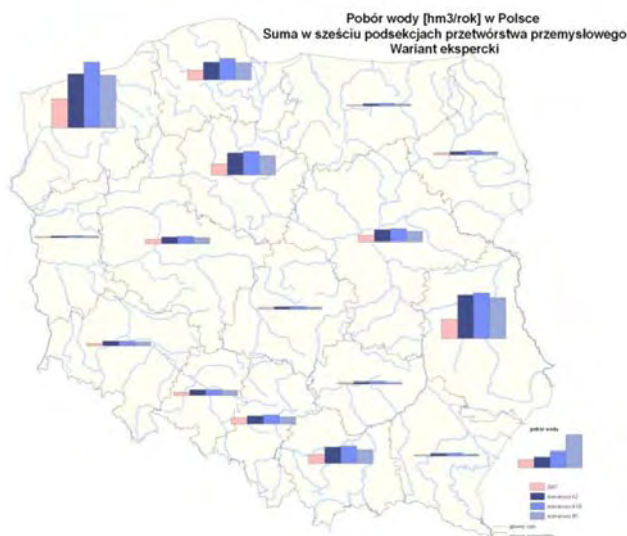
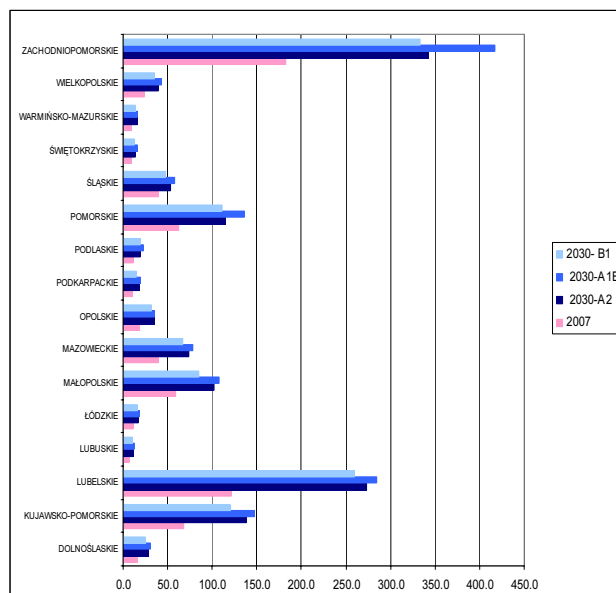
### Przetwórstwo przemysłowe

Wg **wariantu eksperckiego** potrzeby wodne wzrosną dwukrotnie. W poszczególnych podsekcjach największy wzrost potrzeb wodnych jest możliwy w scenariuszu A1B – rynkowym, a najmniejszy w scenariuszu B1 – zrównoważonym. Różnice potrzeb między poszczególnymi scenariuszami w podsekcjach wahają się od ok. 20% do 45%.

W **wariacie modelowym** przewiduje się, że w 2030 r. łączne potrzeby wodne przetwórstwa przemysłowego będą o ok.75% większe od obecnych.

W poszczególnych podsekcjach największy wzrost potrzeb wodnych wykazuje się w scenariuszu A2 – regionalnym, który zakłada najmniejszy wzrost gospodarczy i najwyższy wskaźnik wodochłonności.

W obu wariantach wśród badanych podsekcji największy wzrost potrzeb wodnych jest przewidywany w produkcji wyrobów chemicznych. W wariacie eksperckim prognozuje się ich dwu-, trzykrotny wzrost, a w wariacie modelowym, przy przyjęciu do produkcji wyrobów chemicznych obecnej wodochłonności Niemiec, prognozuje się nieco mniejszy niż 2 krotny ich wzrost. Zwiększenie potrzeb wodnych do produkcji wyrobów chemicznych jest najważniejsze dla kształtowania potrzeb całego przetwórstwa przemysłowego.

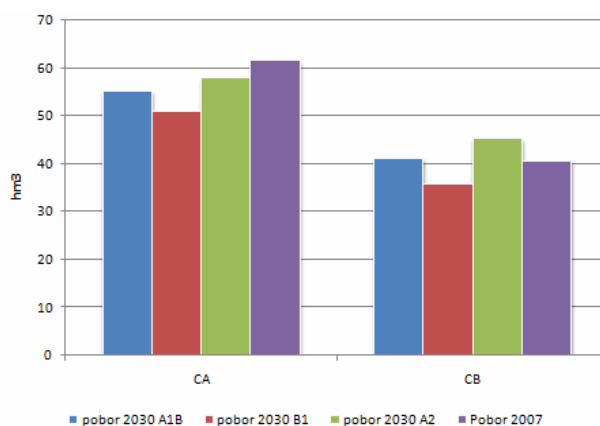


Rys. 5. Wariant ekspercki. Porównanie potrzeb wodnych Polski w 2007 r. z prognozą potrzeb w 2030 r. różnych scenariuszy ( $\text{hm}^3/\text{rok}$ ) [Opracowanie... 2011]

### Górnictwo i kopalnictwo

Zużycie wody w górnictwie i kopalnictwie w 2030 r. w scenariuszu zrównoważonym będzie mniejsze niż obecnie, co wiąże się z wprowadzeniem nowych, czystych technologii w procesie wydobycia surowców kopalnianych. W scenariuszu

szu regionalnym jest możliwe zwiększenie poborów wody, co będzie konsekwencją wdrażania nowych technologii na mniejszą skalę niż w innych scenariuszach. Scenariusz ten zakłada również przewagę wykorzystywania energii cieplnej, co w konsekwencji będzie wymuszać znaczne wydobycie surowców energetycznych (rys. 6).



Rys. 6. Prognozowana wielkości poboru wody w górnictwie i kopalnictwie [Opracowanie... 2011]

### Energetyka

Najmniejsze zapotrzebowanie na wodę jest prognozowane w wariantcie ekologicznym, przy czym największy (ponad 2,5-krotny) spadek potrzeb wodnych w 2030 r. jest prognozowany w scenariuszu zrównoważonym. Natomiast w wariantcie ekologicznym w scenariuszu regionalnym i rynkowym, gdzie zakłada się domknięcie 30% obiegów chłodniczych, zapotrzebowanie na wodę może zmniejszyć się odpowiednio od 10 % do 13%.

W wariantcie dynamicznym, który nie zakłada zmian technologii chłodzenia w stosunku do 2007 r., we wszystkich scenariuszach przewiduje się wzrost zapotrzebowania na wodę w sektorze energetycznym. Największy, niemal o 20%, jest prognozowany w scenariuszu regionalnym. Nieznacznie mniejsze potrzeby przewiduje się w scenariuszu rynkowym (13%), a w scenariuszu zrównoważonym zapotrzebowanie na wodę będzie się kształtować na podobnym poziomie jak w roku 2007.

Przy założeniu znacznego zwiększenia potrzeb wodnych, związanych z rozwojem energetyki jądrowej, można się liczyć z maksymalnym wzrostem potrzeb wodnych sektora energetycznego w 2030 r. nawet o 70–80%. Prognoza potrzeb wodnych w sektorze energetycznym w Polsce opracowana przez ekspertów Unii Europejskiej [Flörke, Alcamo 2004] przewiduje największy spadek potrzeb wodnych spośród wszystkich prezentowanych prognoz. Przyjęto założenie, że w perspektywie 2030 r. będą stosowane wyłącznie zamknięte obiegi chłodnicze.

W sektorze energetycznym w zależności od zastosowanej technologii chłodzenia jest możliwy 2,5-krotny spadek potrzeb wodnych. Przy braku zmiany tej technologii będzie możliwy wzrost potrzeb wodnych o ok. 20%. Jeśli założyć najbardziej pesymistyczny wariant – potrzeby wodne mogą się zwiększyć nawet o 80% w stosunku do obecnego stanu.

### Rolnictwo

Prognozy europejskich ekspertów dotyczące potrzeb wodnych w rolnictwie, przedstawione dla trzech scenariuszy emisyjnych IPCC [Flörke, Alcamo 2004], zakładają kilkuprocentowy spadek potrzeb w Polsce w perspektywie 2030 r. Prawdopodobnie nie uwzględniają możliwości rozwoju upraw energetycznych i związanych z tym potrzeb wodnych do produkcji biomasy. Wzrost zapotrzebowania na wodę w rolnictwie prognozowany jest w krajach europejskich w zależności od scenariusza – na poziomie 11%–55%, głównie w krajach Europy Południowej.

Przy założeniu, że polityka rozwoju OZE w Polsce będzie realizowana i rozwój upraw energetycznych będzie postępował, w prognozie przyjęto, że nastąpi wzrost potrzeb wodnych w scenariuszu rynkowym A1B i zrównoważonym B1 o ok. 10–15%. Natomiast w scenariuszu regionalnym, gdzie zakłada się powolniejsze tempo wdrażania OZE, potrzeby wodne w rolnictwie mogą pozostać na podobnym poziomie lub nieznacznie zwiększyć się o kilka procent.

## **5. Wnioski dla działań adaptacyjnych do zmian klimatu w wybranych działach gospodarki**

Analiza dokumentów [Analiza... 2011] opracowanych na potrzeby projektu KLIMAT pozwala stwierdzić, że potrzeby wodne gospodarki jedynie w wybranych działach i w niewielkim stopniu są zależne od zmian klimatu. W analizowanych działach gospodarki nie stwierdzono istotnego wpływu zmian klimatu na zużycie wody. Zmiany wielkości zużycia wody wynikają głównie:

- z liczby ludności korzystającej z sieci wodociągowej – w gospodarce komunalnej;
- z prognozowanego wzrostu gospodarczego i wdrażania nowych wodooszczędnych technologii produkcji – w przetwórstwie przemysłowym;
- z prognozowanego wzrostu gospodarczego, wdrażania nowych wodooszczędnych technologii chłodzenia, tempa wdrażania OZE, rozwoju energetyki jądrowej, a także możliwości korzystania z nowego źródła energii – gazu łupkowego – w energetyce;
- z tempa zwiększania areału upraw energetycznych i rozwoju systemów nawodnień ciśnieniowych – w rolnictwie.

Przyjęcie skrajnych wariantów prognozy potrzeb wodnych pozwala określić ich minimalną i maksymalną wielkość.

Wariant ekologiczny zakłada największą wodooszczędność (tab. 4). Sumując potrzeby wodne analizowanych działów gospodarki stwierdzono, że w scenariuszu

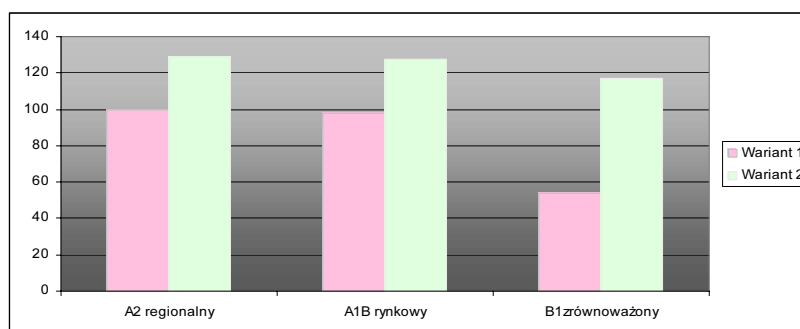
zrównoważonym jest możliwy spadek potrzeb wodnych nawet o 50%, a w pozostałych – potrzeby wodne pozostaną na poziomie zbliżonym do obecnego.

Wariant dynamiczny jest mniej wodoszczędny. Prognozuje się wzrost potrzeb wodnych na podobnym poziomie w scenariuszu rynkowym i regionalnym. Mimo różnic we wzroście gospodarczym w poszczególnych scenariuszach, potrzeby wodne będą na nieco wyższym poziomie niż obecnie – zwiększą się od 20% w scenariuszu zrównoważonym do 30% w pozostałych.

Tab. 4. Potrzeby wodne najbardziej wodochłonnych sekcji gospodarki prognozowane na rok 2030 [Opracowanie... 2011]

Potrzeby wodne	A2	A1B	B1
	(%)		
GOSPODARKA KOMUNALNA – wariant ekologiczny	+3	+15	+2
GOSPODARKA KOMUNALNA – wariant dynamiczny	+50	+70	+50
ENERGETYKA – wariant ekologiczny	-9	-13	-60
ENERGETYKA – wariant dynamiczny	+20	+13	+7
PRZETWÓRSTWO PRZEMYSŁOWE – wariant modelowy (bardziej ekologiczny)	+75	+60	+40
PRZETWÓRSTWO PRZEMYSŁOWE – wariant ekspercki	+90	+110	+75
POLSKA WARIANT ekologiczny	0	-2	-50
POLSKA WARIANT dynamiczny	+30	+30	+20

Największy wzrost potrzeb wodnych, bo nawet o ponad 100%, jest przewidywany w przetwórstwie przemysłowym. Nastąpi to mimo wprowadzania wodoszczędnych technologii, ponieważ dynamika produkcji będzie znacznie większa. W energetyce zmiana technologii chłodzenia, a w szczególności zastosowanie zamkniętych obiegów wody, może spowodować ponad dwukrotne zmniejszenie potrzeb wodnych. Przy braku zmian technologii przewiduje się zwiększenie potrzeb na poziomie od kilkunastu do 20%, a w skrajnym przypadku nawet o 80% w stosunku do stanu obecnego.



Rys. 7. Procentowe zmiany potrzeb wodnych gospodarki Polski w 2030 r. w stosunku do 2007 r. [Opracowanie... 2011]



Na rys. 7 przedstawiono prognozowany procent zmian potrzeb wodnych w stosunku do roku 2007 w różnych scenariuszach. W wariacie 1. określono najbardziej ekologiczne – wodoszczędne prognozy, wariant 2. jest mniej optymistyczny.

Zakłada się najbardziej dynamiczny rozwój w scenariuszu rynkowym (A1B), czego skutkiem może być wzrost potrzeb wodnych w tym scenariuszu. Mniejsze tempo rozwoju (i wielkość produkcji) w scenariuszu regionalnym (A2) nie spowodują spadku potrzeb wodnych, ponieważ w tym scenariuszu nie zakłada się znaczącego postępu we wdrażaniu wodoszczędnych technologii.

Przed przetwórstwem przemysłowym stoi ważne zadanie: potrzeby wodne mogą znacznie wzrosnąć, trzeba więc zabezpieczyć źródła wody niezbędne do rozwoju produkcji.

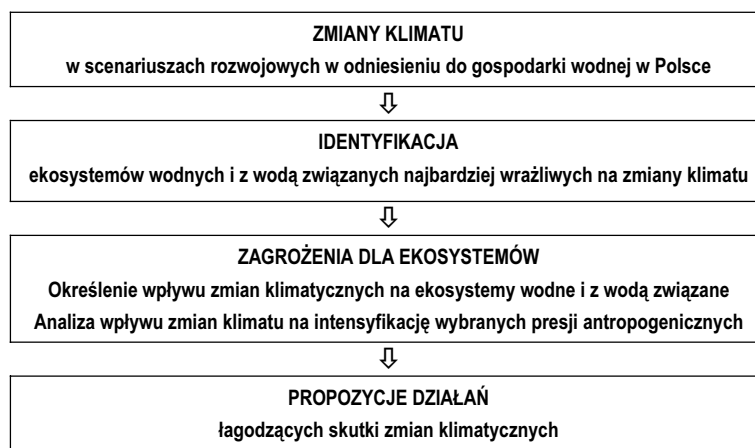
# Zmiany klimatu a ekosystemy wodne i z wodą związane

Katarzyna Czocho, Krzysztof Kulesza,  
Magdalena Kwiecień, Małgorzata Szopnicka

## 1. Wprowadzenie

W obliczu potencjalnych zmian klimatu zwrócono szczególną uwagę na potrzeby środowiska wodnego i ekosystemów z nim związanych. Analiza zagrożeń prawidłowego funkcjonowania ekosystemów pozwala na określenie działań łagodzących.

Rozważając oddziaływania zmian klimatu skorelowanych z presjami antropogenicznymi na ekosystemy wodne i z wodą związane należy podkreślić, że ich możliwości adaptacyjne zależą od stopnia wrażliwości na zmiany warunków wodnych.



Rys. 1. Schemat analizy wpływu przewidywanych zmian klimatu na ekosystemy wodne

Założenia metodyczne analizy wpływu zmian klimatu na ekosystemy wodne przedstawiono na rys. 1.

## 2. Zmiany klimatu

Potencjalne zmiany klimatu przedstawiono w IV Raporcie Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu, w formie scenariuszy obejmujących okres do 2100 r. [IPCC Special... 2000]. Przewidują one wzrost temperatury (różny, w zależności od scenariusza) oraz zmianę sezonowych sum opadów, z jednoczesnym wzrostem sum opadów w zimie i spadkiem – w lecie, a także zwiększenie intensywności i częstotliwości zjawisk ekstremalnych (powódzie, huragany, susze).

## 3. Identyfikacja ekosystemów wodnych i z wodą związanych, najbardziej wrażliwych na zmiany klimatu

Stopień wrażliwości ekosystemu (np. odporność na zmiany warunków wodnych) we wszystkich kwantyfikacjach biologicznych odgrywa największą rolę.

Tab. 1. Ekosystemy najbardziej wrażliwe na zmiany klimatu – przykłady [Herbich 2004]

Ekosystemy	Siedlisko
Morskie, przybrzeżne	Ujścia rzek, estuaria
	Zalewy i jeziora przybrzeżne, laguny
	Wilgotne zagłębienia międzywymowe
Solnisk śródlądowych	Śródlądowe błotne solniska z solirodem
	Śródlądowe słone łąki, pastwiska i szuwały
Wód słodkich i torfowisk	Jeziora lobeliowe
	Brzegi lub osuszone dna zbiorników wodnych ze zbiorowiskami z Litorelletea Isoeto Nanojuncetea
	Twardowodne oligo- i mezotroficzne zbiorniki z podwodnymi łąkami ramienic Charetea
	Starorzecza i naturalne eutroficzne zbiorniki wodne ze zbiorowiskami z Nymphaeion, Potamion
	Pionierska roślinność na kamieńcach górskich potoków
	Zarośla wrześni na kamieńcach i żwirowiskach górskich potoków
	Zarośla wierzbowe na kamieńcach i żwirowiskach górskich potoków
	Nizinne i podgórskie rzeki ze zbiorowiskami włosieniczników
	Zalewane muliste brzegi rzek
	Torfowiska wysokie z roślinnością torfotwórczą
	Torfowiska wysokie zdegradowane, zdolne do naturalnej i stymulowanej regeneracji
	Torfowiska przejściowe i trzęsawiska
	Torfowiska nakredowe
Górskie i nizinne torfowiska zasadowe o charakterze młak, turzycowisk i mechowisk	
Nieleśne	Wilgotne wrzosowiska z wrzoścem bagiennym
	Ziołorośla górskie i nadrzeczne
	Łąki selemicowe
Leśne	Bory i lasy bagienne
	Łęgi wierzbowe, topolowe, olszowe i jesionowe
	Łęgowe lasy dębowo wiązowo jesionowe

Wynika to z tego, że od stabilności ekosystemu zależy zarówno zachowanie różnorodności biologicznej, jak i występowanie rzadkich gatunków fauny i flory oraz przetrwanie specyficznych biocenoz lasów i zarośli łęgowych. Niestabilne ekosystemy ulegną degradacji nawet przy niewielkiej ingerencji w ich funkcjono-

wanie. Równocześnie, przy ekosystemach bardzo stabilnych zakres i stopień antropogenicznych ingerencji może być większy [Określenie... 2009]

W tab. 1 przedstawiono wykaz ekosystemów (zgodnie z dyrektywą siedliskową [Dyrektywa... 1992]) najbardziej wrażliwych na zmiany klimatu.

#### 4. Zagrożenia dla ekosystemów wodnych

Zmiany klimatu mogą wpływać na strukturę ekosystemów, powodując spadek różnorodności biologicznej oraz zmiany charakterystyk organizmów i populacji,

Tab. 2 Wybrane rodzaje siedlisk przyrodniczych (bezpośrednio zależnych od wody) i ich zagrożenia [Weigle 2004]

Typ siedliska przyrodniczego	Zagrożenia związane z wodą	Stopień zagrożenia
Torowiska wysokie	wrażliwe na zmiany stosunków wodnych, deptanie, melioracje odwadniające, zalesienia, ekstensywna i przemysłowa eksploatacja torfu, zmyw nawozów, zmiana termicznych cech klimatu, osiągnięcie maksimum możliwości wzrostu w warunkach polskich	4
Naturalne i dystroficzne zbiorniki wodne	zręb zupełny drzew, kwaśne deszcze, trwale obniżenie poziomu wód gruntowych, nadmierne i nieracjonalne zarybianie	4
Jeziora lobeliowe	zmiany układów hydrologicznych, alkalizacja wód	4
Ujścia rzek (estuaria)	eutrofizacja, zanieczyszczenia toksynami, działania hydrotechniczne, regulacja koryt, umacnianie brzegów, nieracjonalne rybołówstwo, inwazja obcych gatunków, nadmierny ruch turystyczny, wycieki substancji ropopochodnych	3
Torowiska wysokie zdegradowane	skrajnie wrażliwe na zmiany warunków wodnych, podniesienie trofii, eksploatacja torfu, zalesianie, wydeptywanie	3
Pionierska roślinność na kamieńcach górskich potoków	brak odpowiedniego poziomu wody wraz z wysokimi przepływami, brak napływu materiału skalnego, zahamowany dopływ światła, stabilizacja koryta rzecznoego i poziomu zwierciadła wody, budowa zbiorników zaporowych, stopni wodnych, prace regulacyjne, usuwanie przemiałów, wydobywanie żwiru i kamieni, eutrofizacja	2
Nizinne i podgórskie rzeki ze zbiorowiskami włosieniczników	rozwój intensywnej gospodarki rolnej, odprowadzanie nieoczyszczonych ścieków bytowo-gospodarczych, erozja wodna gleb, eksploatacja kopalni (piasków, żwirów i kredy), zabiegi melioracyjne w dolinie, kanalizacja koryt rzecznych, odwodnienie zlewni, zmniejszenie tempa migracji wód podziemnych, erozja gleb i zastąpienie dopływu gruntowego spływem powierzchniowym, zmniejszenie objętości przepływu rzek, sedimentacja osadów, budowa zbiorników zaporowych.	2
Torowiska przejściowe i trzęsawiska	wybitnie wrażliwe na zmianę stosunków wodnych i troficznych, zanieczyszczenia chemiczne, zmiana odczynu, wydeptywanie, melioracje, eutrofizacyjne zmywy, zasypywanie gruzem i innymi odpadami	2
Lasy łęgowe i nadrzeczne zarośla wierzbowe	usuwanie drzew utrudniających spływ wód powodziowych i tworzących zatopy lodowe, regulacja rzek, budowa wałów, obniżenie retencji, eutrofizacja, budowa zbiorników zaporowych, zanik zalewów i podtopień, zmiana poziomu wód gruntowych i dynamiki przepływów	2
Starorzecza i inne naturalne zbiorniki wodne	antropopresja, eutrofizacja, dopływ substancji biogennej, nieznaczne i krótkotrwałe wahania poziomów wód gruntowych powodują degradację siedliska	1
Zalewane muliste brzegi rzeki	prace hydrotechniczne związane z regulacją dolin rzecznych, ograniczenie procesów erozji i akumulacji, wąskie obwałowania, prostowanie koryt, techniczne i biologiczne ubezpieczenia brzegów, zbiorniki zaporowe, eutrofizacja,	1

Stopnie zagrożenia: 0 – stopień zagrożenia nieznan, 1 – niezagrożone, 2 – zagrożone w niektórych regionach, 3 – średnio zagrożone, 4 – najbardziej zagrożone

Zgodnie z *Poradnikami ochrony siedlisk i gatunków...* [Herbich 2004] poszczególne siedliska analizowano, biorąc pod uwagę uwarunkowania lokalne, reprezentatywne gatunki, tendencje do przemian i wpływ zmian klimatu.

takich jak – liczebność, biomasa/rozmiar, rozmieszczenie organizmów. Istnieją gatunki zimnolubne, dla których występujące już obecnie wysokie temperatury mogą być letalne.

#### **4.1. Wpływ zmian klimatu na ryby**

W ekosystemach wodnych do organizmów najbardziej wrażliwych na zmiany zasobów wodnych należą ryby. Zajmują najwyższy poziom troficzny oraz integrują procesy zachodzące na niższych poziomach. Dlatego też są bardzo dobrym i szybko reagującym wskaźnikiem ekologicznego stanu i zmian środowiska [Matulla i in. 2007].

Najważniejszym i krytycznym etapem w życiu ryb jest okres rozrodu. Możliwość odbycia tarła i powstania nowego pokolenia jest warunkowana kilkoma czynnikami, z których główne to: odpowiednia do tarła i rozwoju ikry temperatura wody, właściwy dla danego gatunku substrat (podłoże), na którym ryby składają ikrę oraz, dla ryb odbywających wędrówki – szczególnie dla gatunków anadromicznych – możliwość dotarcia na tarliska (zachowanie drożności rzeki). Oprócz złożenia ikry ważne są też możliwości rozwoju embrionalnego oraz wzrostu narybku do stadium, w którym staje się mniej zależny od warunków środowiska. Dorosłe ryby kompensują migracjami pogarszające się warunki środowiska, oczywiście pod warunkiem, że mają takie możliwości.

Ryby odbywają tarło w szerokim spektrum temperatury wody, a co za tym idzie – w różnych okresach. Ogólnie ryby można podzielić na stenotermiczne – składające ikrę w wąskim przedziale temperatury i eurytermiczne – odbywające tarło w szerokim przedziale temperatury wody. Wśród stenotermicznych można wyróżnić gatunki zimnolubne, rozradzające się w temperaturze do 10° C, i ciepłolubne, składające ikrę w wodzie o temperaturze powyżej 18°C [Określenie... 2009].

Do najistotniejszych elementów zmian klimatu, mogących mieć wpływ na zmianę środowiskowych warunków rozrodu i bytowania ryb należą:

Temperatura – dla większości gatunków ryb, które są typowymi gatunkami eurytermicznymi, spodziewane zmiany temperatury nie będą miały żadnego znaczenia, natomiast dla gatunków ciepłolubnych ich wpływ będzie pozytywny. Pstrąg potokowy (gatunek zimnolubny) może zaniknąć w odcinkach rzek, w których temperatura w sezonie letnim długotrwale będzie przekraczała 15°C. Nie oznacza to jednak wyginięcia tych ryb w zlewni, tylko ich przemieszczenie się w rejony bardziej dla nich odpowiednie. Większy problem dotyczy głowaczy – białopłetwego i przęgopłetwego, również gatunków zimnolubnych. Zajmują one w rzekach stanowiska bliskie źródeł, gdzie w skrajnych przypadkach, w niewielkich rzekach, nie mają już możliwości dalszego przemieszczania się w odcinki z chłodniejszą wodą. Gatunkiem, który silnie reaguje na wzrost temperatury wody jest miętus, dla którego 16 °C jest temperaturą letalną.

Ciepła zima z opadami deszczu i z ograniczonymi zjawiskami lodowymi spowoduje, że w rzekach stany wody będą lekko podwyższone lub średnie. Będzie to

korzystne dla ryb łososiowatych – pstrąga potokowego, troci, łososia, pod warunkiem, że wody nie będą niosły zawiesiny mineralnej. Jeżeli podwyższonym i średnim stanom wód będzie towarzyszyła duża ilość zawiesiny mineralnej, to złożona w gniazdach ikra zostanie zamulona. Brak wiosennych roztopów i związanych z nimi wylewów stanie się z kolei niekorzystne dla szczupaka i bolenia, które trą się na zalanych łąkach.

Mroźna zima z opadami śniegu i zjawiskami lodowymi spowoduje, że w rzekach będą niskie stany wody. Ograniczy to wprawdzie dostępną powierzchnię tartłisk dla łososiowatych, ale ich ikra z pewnością nie zostanie zamulona. Wiosenne roztopy spowodują wysokie stany wody i korzystne warunki do rozrodu szczupaków i jazi.

Ciepłe lato i małe opady – skutkiem parowania i zwiększonej (do czasu wyczerpania wody) produkcji roślinnej zwiększy się deficyt wody, co ułatwi jej nagrzewanie i spowoduje niekorzystne warunki dla ryb zimnolubnych.

Zimne lato i małe opady – mniejsze parowanie i mniejsza produkcja roślinna, przez co deficyt wody nie będzie tak znaczny, jak podczas ciepłego lata. Dobre warunki rozrodu dla brzozy i klenia, dla pozostałych gatunków bez znaczenia.

Ekstremalne, nawalne opady i bardzo wysokie stany wody (jak np. podczas powodzi w 1997 r.) zarówno w ciepłym, jak i w zimnym roku spowodują negatywne skutki: demobilizację osadów, zniszczenie lub zniesienie w dół rzeki zespołów bezkręgowców (zubożenie bazy pokarmowej), zniesienie w dół rzeki lub na zalane obszary narybku (a nawet dorosłych ryb). Po powodziach o katastrofalnym charakterze zespoły ichtiofauny w małych rzekach i potokach odtwarzają się (liczebność, przywrócenie normalnej struktury wiekowej) po 2–3 latach, w dużych rzekach natomiast nawet po 7–8 latach.

#### **4.2. Wpływ zmian klimatu na intensyfikację presji antropogenicznych**

Wraz z rozwojem cywilizacyjnym doliny rzek, jeziora i obszary podmokłe są poddawane znaczącym abiotycznym i biotycznym obciążeniom.

Do najczęstszych sił sprawczych, będących przyczyną presji i powodujących degradację ekosystemów wodnych i od wody zależnych należą: retencjonowanie wody, ochrona przeciwpowodziowa, żegluga, regulacje rzek, energetyka wodna, odwadnianie, turystyka i rekreacja, pobory wód, przerzuty wód, pobory rumowiska, zanieczyszczenia punktowe i obszarowe, zagospodarowanie zlewni, w tym terenów zalewowych oraz inne działania związane z rozwojem cywilizacyjnym [Określenie... 2009].

Zmiany temperatury i opadów, a w konsekwencji zmiany zasobów wodnych w połączeniu z presjami antropogenicznymi mogą pogłębić negatywne skutki dla środowiska wodnego. Dlatego też istotne jest uwzględnienie korelacji tych oddziaływań przy rozpatrywaniu zagrożeń dla ekosystemów wodnych i z wodą związanymi.

Intensyfikacja presji antropogenicznych jest przede wszystkim związana z takimi konsekwencjami zmian klimatu, jak: podwyższenie termiki wody, obniżenie stanów i przepływów, zmiany prędkości wody. Większa częstotliwość zjawisk ekstremalnych (powódź, susza) może spowodować konieczność budowy kolejnych obiektów ochrony przeciwpowodziowej lub obiektów retencjonujących wodę.

## 5. Propozycje działań łagodzących skutki zmian klimatu i chroniących ekosystemy wodne

W konsekwencji przeprowadzonej analizy zagrożeń przystąpiono do opracowania programu działań łagodzących negatywne skutki zmian klimatu w ekosystemach wodnych i z wodą związanymi.

W tab. 3 zestawiono wybrane skutki ekologiczne potencjalnych zmian klimatu (zmiana termiki wody, zmniejszenie ilości opadów, obniżenie stanu wód oraz zmniejszenie przepływów, obniżenie poziomu wód gruntowych, zmiana reżimu hydrologicznego, zwiększenie zjawisk ekstremalnych) i przedstawiono propozycje działań łagodzących [Określenie... 2009].

Tab. 3. Potencjalny wpływ zmian klimatu na ekosystemy wodne i z wodą związane oraz propozycje działań łagodzących

Skutek zmian klimatu (zagrożenia)	Działania	Przewidywany efekt
Przekształcenie szaty roślinnej brzegów i doliny cieku. Szczególne ryzyko utraty gatunków endemicznych i reliktowych.	Obsadzenia roślinnością zbliżoną do naturalnej dla określonego cieku, powodujące m.in. zacienienie cieku oraz odtworzenie korzystnych warunków dla zagrożonych gatunków.	Podtrzymanie i odtworzenie zagrożonej szaty roślinnej stanowiącej korzystne warunki siedliskowe.
Migracja organizmów do miejsc o korzystniejszych warunkach bytowania	Zapewnienie funkcjonowania dolin rzecznych jako korytarzy ekologicznych, w tym drożności cieków.	Umożliwienie wędrówek organizmom.
Ograniczenie lub utrata nadbrzeżnych ekosystemów łęgowych i łąkowych.	Obsadzenie roślinnością typową dla strefy wodno-łąkowej, zapewnienie łączności głównego koryta z terenami zalewowymi.	Częściowe utrzymanie funkcjonowania nadbrzeżnych ekosystemów łęgowych i łąkowych.
Przyspieszenie tempa wzrostu makrofitów i glonów. Wydłużenie sezonu produktywnego.	Ograniczenie zanieczyszczeń, redukcja dopływu biogenów. Zacienienie rzek i strefy przybrzeżnej zbiorników przez zadrzewienia, zbliżone do naturalnych dla określonego typu cieku lub zbiornika.	Ograniczenie nadmiernego rozwoju makrofitów.
Wzrost stężenia zawiesiny.	Ograniczenie powierzchni gruntów ornych w dolinach rzek, przekształcanie ich w trwałe użytki zielone. Wykorzystanie łąg jako strefy buforowej między uprawami a rzeką. Ograniczenie erozji obszarów upraw poprzez odpowiednie zabiegi agrotechniczne.	Poprawa jakości wód.
Zmniejszenie zdolności do samooczyszczania cieków.	Zwiększona ochrona jakości wód. Rewitalizacja – odtworzenie dużej zdolności do samooczyszczania cieku.	Poprawa jakości wód.

Skutek zmian klimatu (zagrożenia)	Działania	Przewidywany efekt
Zmiany reżimu hydrologicznego mogą spowodować pogorszenie warunków żeglugowych rzek. Może to wymuszać dodatkowe działania techniczne powodujące utratę naturalnych struktur koryta rzeki.	Żeglugowe udrożnienie rzek z zachowaniem praktyk bliskich naturze lub rezygnacja z żeglugi.	Kompromis między funkcją żeglugi a zachowaniem naturalnych struktur koryta.
Zmiany reżimu hydrologicznego mogą spowodować pogorszenie warunków pracy obiektów małej energetyki. Spowoduje to dłuższy czas piętrzenia, a w efekcie przedłużenie czasu, w którym przepływ poniżej obiektu będzie minimalny lub nawet zerowy.	Weryfikacja pozwoleń wodnoprawnych, likwidacja niektórych obiektów lub zmiana ich warunków technicznych.	Adaptacja obiektów do nowych warunków z minimalizacją negatywnego wpływu na środowisko. Likwidacja obiektów o znacznej szkodliwości.
Zmiany reżimu hydrologicznego mogą spowodować zakłócenia w funkcjonowaniu niektórych elementów budowli hydrotechnicznych (np. przepławki, kanały obiegowe etc)	Przebudowa lub likwidacja obiektu-dostosowanie do zmienionych warunków hydrologicznych.	Zapewnienie prawidłowego funkcjonowania istniejących obiektów w korycie ciekłu pozwoli na polepszenie warunków środowiskowych (np. dzięki przebudowie przepławek udrożnieniu ciekłu).
Zmiana warunków reżimu hydrologicznego może spowodować brak uzasadnienia dla dalszej eksploatacji niektórych obiektów hydrotechnicznych.	Likwidacja zbędnych obiektów, renaturyzacja koryta ciekłu.	Polepszenia stanu ekologicznego ciekłu oraz walorów krajobrazowych dolin rzecznych.
Przesuszenie torfowisk i innych mokradeł.	Stabilizacja poziomu wód gruntowych poprzez: zwiększenie możliwości zasilania mokradeł w wody wysokie (zalewowe), ograniczenie spływu powierzchniowego na rzecz większych możliwości retencyjnych oraz naturalne i półtechniczne metody prowadzące do podniesienia poziomu wód gruntowych.	Całkowite lub częściowe ograniczenie przesuszania mokradeł.
Zanik ekosystemów podmokłych w starorzeczach i na terenach zalewowych.	Przywrócenie połączenia starorzeczy z korytem ciekłu (okresowe zalewy).	Zapewnienie funkcjonowania siedlisk podmokłych istotnych dla określonych gatunków
Zaburzenia równowagi hydrodynamicznej, zmiana warunków morfologicznych stymulujących życie biologiczne ekosystemu.	Przywrócenie równowagi hydrodynamicznej w korycie.	Przywrócenie organizmom wodnym odpowiednich warunków do życia. Częściowe zachowanie naturalnych procesów fluwialnych ciekłu.
Zwiększenie częstotliwości zjawisk ekstremalnych (powódź, susza) może spowodować budowę kolejnych obiektów zarówno ochrony przeciwpowodziowej, jak i retencjonowania wody.	Wszelkie obiekty powinny być realizowane zgodnie z zasadą „dobrych praktyk”, uwzględniającą wymagania środowiskowe oraz programy działań naprawczych kompensujących potencjalne straty ekologiczne.	Kompromis między potrzebami ochrony przeciwpowodziowej oraz retencjonowania wody a dobrym stanem ekologicznym ciekłów.
Wzrost liczebności szybko rozmnażających się organizmów (r-strategów) po katastrofalnych powodziach.	Przywrócenie naturalnych stref zalewowych rzek, odtworzenie połączeń koryta z starorzeczami. Zabezpieczenie ciągłości ekologicznej rzeki – udrożnienie ciekłu.	Ograniczenie nadmiernego rozwoju r-strategów.



## 6. Wybrane obszary pilotowe

W wybranych zlewniach pilotowych przeanalizowano możliwe zagrożenia funkcjonowania ekosystemów wodnych i z wodą związanych oraz zaproponowano rodzaje działań łagodzących negatywne skutki oddziaływania zmian klimatu.

O wyborze decydowały takie kryteria, jak: typologia cieków, bioróżnorodność, wysokie walory przyrodnicze, dostępność danych oraz występowanie presji antropogenicznych skorelowanych z potencjalnymi zmianami klimatu.



Rys. 2. Nida w m. Szczytniki (fot. K. Czocho)



Rys. 3. Narew z lotu ptaka (fot. M. Maciejewski)



Rys. 4. Czarny Dunajec w m. Wróblówka (fot. K. Czocho)



Rys. 5. Nysa Łużycka (fot. J. Błachuta)



Rys. 6. Torfowisko Baligówka w zlewni Czarnego Dunajca (fot. K. Czocho)



Rys. 7. Jez. Trzesiecko (fot. A. Grześkowiak)

Po uwzględnieniu powyższych kryteriów jako zlewnie pilotowe wybrano: zlewnię Czarnej Dunajca (w tym kompleks cennych mokradeł – Torfowisk Orawsko-Nowotarskich – położony w zlewni Czarnej Orawy i Cz. Dunajca), zlewnię Nidy od połączenia Czarnej i Białej Nidy (meandrująca rzeka o charakterze nizinnym), zlewnię Narwii od granicy Polski do ujścia Biebrzy (typ rzeki anastomozującej), zlewnię Nysy Łużyckiej (o charakterze transgranicznym) oraz zlewnię jeziora Trzesiecko [Określenie... 2009].



Rys. 8. Lokalizacja przykładowych zlewni

## 7. Ocena wyników i wnioski

Wynikiem prac jest wyznaczenie ekosystemów najbardziej wrażliwych na zmiany klimatu oraz ich hierarchizacja pod kątem stopnia wrażliwości na zmiany zasobów wodnych – ze szczególnym uwzględnieniem ichtiofauny. Pozwoliło to na określenie zagrożeń, wynikających z potencjalnych zmian klimatu, związanych z funkcjonowaniem ekosystemów wodnych i z wodą związanych.

Do zagrożeń można przypisać możliwe działania, rekompensujące ekologiczne straty, przy czym waga tych działań jest uzależniona od skali zagrożenia oraz wrażliwości ekosystemów wodnych na zmiany klimatyczne. Koniecznym uzupełnieniem analizy zagrożeń dla ekosystemów wodnych i z wodą związanych jest identyfikacja najistotniejszych presji antropogenicznych, których oddziaływania mogą być zintensyfikowane przez zmiany klimatyczne.

Należy podkreślić, że w odniesieniu do przewidywanych zmian klimatu, w odpowiedzi na zaistniałe lub prognozowane zagrożenia poszczególnych ekosys-

temów wodnych i z wodą związanych, dobór działań (naprawczych, łagodzących, odtworzeniowych) będzie zależeć każdorazowo od szeregu czynników związanych z uwarunkowaniami lokalnymi i specyfiką konkretnego obszaru. Przy określaniu konkretnego rozwiązania należy zawsze uwzględniać wszystkie aspekty jego realizacji – przyrodniczo-krajobrazowe, społeczno-gospodarcze, ekonomiczne i prawne. Wszelkie działania wodnogospodarcze powinny uwzględniać wpływ zmian klimatycznych na środowisko wodne.

# **Przykłady modelowania wodnogospodarczego w wybranych zlewniach pilotowych**

*Ilona Biedroń, Marta Bedryj, Agnieszka Boroń,  
Urszula Opiał-Gatuszka, Danuta Kubacka,  
Magdalena Kwiecień, Jadwiga Łaciak, Anna Łudzik*

## **1. Wprowadzenie**

Ocena prognozowanych konsekwencji wywołanych działalnością człowieka i zmianami klimatycznymi jest możliwa tylko w oparciu na modelach bilansowych uwzględniających z jednej strony zmiany w dostępnych zasobach, a z drugiej zmiany potrzeb wynikające z przyjętych scenariuszy rozwoju.

Pogodzenie tych dwu elementów w równym stopniu szczegółowości w jednym modelu jest praktycznie niemożliwe. Prognozowanie zmian w dostępnych zasobach, mierzone np. wielkością przepływu w rzece lub poziomem wód gruntowych, wymaga zastosowania modeli typu opad – odpływ, tym bardziej, że wyniki modeli klimatycznych ograniczają się do określenia zmian wysokości opadu i temperatury. W tego typu modelach podstawowe dane to:

- dane klimatyczne – wysokość opadu, temperatura, wilgotność powietrza, prędkość wiatru, energia promieniowania słonecznego;
- wysokościowy model terenu DEM;
- cyfrowa mapa gleb z ich właściwościami hydrogeologicznymi;
- cyfrowa mapa użytkowania terenu.

Krok czasowy to maksymalnie doba, a na ogół godzina.

Zmiany potrzeb użytkowników i możliwość ich szczegółowego zaspokojenia są rozpracowane w modelach wodnogospodarczych. Pozwalają one na przeprowadzenie, w skali wybranego obszaru hydrograficznego, kompleksowego bilansu wodnogospodarczego wód, traktowanego jako rachunek obejmujący ilościowe i jakościowe porównanie zasobów z potrzebami wodnymi użytkowników oraz kształtowanie i rozrząd tych zasobów z uwzględnieniem priorytetów użytkowników i wymagań środowiska przyrodniczego.

Celem tak zdefiniowanego bilansu jest:

- ocena możliwości zaspokojenia ilościowych potrzeb wodnych użytkowników zaopatrywanych z wód powierzchniowych i podziemnych;
- ocena oddziaływania obiektów hydrotechnicznych;
- ocena wielkości zasobów dyspozycyjnych rozumiana jako ilość wody, którą w określonym czasie można pobrać ze źródeł poboru w celu zaspokojenia potrzeb;
- tworzenie podstaw do warunków korzystania z wód regionu wodnego lub zlewni rzecznej;
- tworzenie podstaw dla przygotowania i weryfikacji pozwoleń wodnoprawnych na pobór wody i odprowadzanie ścieków;
- przygotowanie propozycji działań w zakresie kształtowania i rozwoju użytkowania wód powierzchniowych;
- rozwiązywanie konfliktów związanych z użytkowaniem wód.

Bilans może mieć charakter statyczny lub dynamiczny, czyli uwzględniający zmienność w czasie danych wejścia opisujących elementy bilansu, tj. zasoby, potrzeby, zrzuty, zasady pracy obiektów etc.

Wielkość zasobów w tego typu modelach jest ustalana jako dana wejściowa, określana na podstawie pomiarów hydrologicznych lub jako wynik modelu typu opad – odpływ.

Do głównych danych dotyczących użytkowania wód zlewni należy zaliczyć:

- pobory wód powierzchniowych i podziemnych (potrzeby wodne),
- zrzuty ścieków,
- obiekty kształtujące stan ilościowy zasobów wodnych (zbiorniki wodne),
- czynniki decydujące o zanieczyszczeniach obszarowych.

Zalecany krok czasowy obliczeń to dekada.

## **2. Opis zastosowanych modeli**

W związku z przedstawionymi przesłankami, oceniając możliwość aplikacji modeli do bilansowania zasobów wód jako narzędzia wspomagającego zarządzanie zlewnią w obliczu zmian klimatycznych – dokonano przeglądu dostępnych modeli, który obejmował rozpoznanie rozwiązań teoretycznych, zakresu i formatu danych wejściowych i wyjściowych, niezbędnego oprogramowania do zainstalowania modelu, przykładów praktycznego zastosowania. Do testowania na wybranych zlewniach pilotowych wybrano dwa modele typu opad-odpływ: SWAT, MIKE SHE i dwa modele wodnogospodarcze: MIKE BASIN, MODSIM i równocześnie analizowano możliwości wzajemnego zasilania danymi. Poniżej przedstawiono syntetyczny opis wybranych modeli:

### MIKE BASIN

MIKE BASIN to produkt komercyjny Duńskiego Instytutu Hydrauliki (Danish Hydraulic Institute Water & Environment, DHI). Matematyczna reprezentacja zlewni obejmuje konfigurację głównych rzek i ich dopływów, hydrologię zlewni

w czasie i przestrzeni oraz wszelkie istniejące w zlewni formy użytkowania wód. Model umożliwia prowadzenie bilansowych analiz ilościowych i jakościowych. Pozwala na analizę dostępności wody (optymalizacja w wykorzystaniu wód powierzchniowych i podziemnych), planowanie infrastruktury (nawodnienia, wydajność zbiorników, możliwości zaopatrzenia w wodę, wymagania dotyczące oczyszczanie ścieków), analizę wielosektorową (gospodarstwa domowe, przemysł, rolnictwo, hydroenergetyka, rekreacja, ekologia), studia ekosystemów (jakość wody, minimalne wymogi, zrównoważony rozwój, skutki zmian globalnych) [MIKE BASIN 2008]

Model MIKE BASIN składa się z modułów:

- ilości wody – pozwala na analizy bilansowe wód powierzchniowych z wzięciem pod uwagę potrzeb wodnych użytkowników (hierarchia poboru wody z uwzględnieniem zachowania przepływu nienaruszalnego).
- jakości wody (Water quality – WQ) – oparty na bilansie parametrów zanieczyszczeń wód powierzchniowych w węzłach. Symuluje w stanie ustalonym transport najważniejszych substancji (BZT5, azot, fosfor etc.) wpływających na jakość wody w rzekach i zbiornikach. Moduł pozwala na analizę wpływu punktowych źródeł zanieczyszczeń oraz rozproszonych i obszarowych źródeł zanieczyszczeń.
- wody podziemne – pozwala na uwzględnienie zasilania warstwy wodonośnej przez rzeki, zasilania wód podziemnych z odpływu oraz użytkowania wody (pobory wody, nawadnianie)
- model NAM – uproszczony model opad-odpływ, który zakłada, że woda z opadu jest gromadzona w 4 połączonych ze sobą zbiornikach (magazynach): śniegu, powierzchni ziemi, strefie korzeniowej, wodzie podziemnej, opisanych jednakowymi dla całej podzlewni 9 podstawowymi parametrami. W oparciu na danych meteorologicznych oblicza się odpływ z podziałem na powierzchniowy, podpowierzchniowy i podziemny.

#### MIKE SHE (Systeme Hydrologique European)

MIKE SHE to produkt komercyjny Duńskiego Instytutu Hydrauliki (Danish Hydraulic Institute Water & Environment, DHI). Trójwymiarowy model, będący zintegrowanym systemem modelującym obieg wody w przyrodzie, w tym wszystkie fazy gruntowe cyklu hydrologicznego, może być powszechnie wykorzystywany do analiz, planowania i zarządzania zasobami wodnymi oraz środowiskowymi, a także do wspomaganie rozwiązań problemów ekologicznych związanych z wodami powierzchniowymi i podziemnymi [MIKE SHE 2008a, MIKE SHE 2008b]

Rozbudowane narzędzia modelu pozwalają na symulację:

- procesów zachodzących na powierzchni terenu (retencja i spływ powierzchniowy);
- procesów zachodzących zarówno w strefie aeracji, jak i saturacji;
- procesów zachodzących w wodach powierzchniowych i podziemnych, wraz z możliwością stworzenia koncepcyjnego modelu geologicznego;

- przestrzennych procesów przepływu wód podziemnych.

Nałożenie na cykl przyrodniczy oddziaływań antropogenicznych (ujęcia wód, zabudowa terenu, drenaże, melioracje, źródła zanieczyszczeń etc.) umożliwia całościową analizę schematu obiegu wody w środowisku. Narzędzie to oferuje możliwość sporządzania bilansu wodnego w różnych skalach czasowych i przestrzennych. W zależności od rodzaju wybranej rozdzielczości – obszar lub pojedyncza komórka – bilans jest prezentowany jako wartość właściwa dla zdefiniowanej zlewni lub podzlewni bądź jako grid. Wbudowany w MIKE SHE model MIKE 11 jest kompleksowym narzędziem do symulacji przepływu, jakości wody i transportu zanieczyszczeń w rzekach, kanałach, estuariach oraz systemach irygacyjnych.

#### SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

Model SWAT to ogólnodostępny product United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Texas University; jest nakładką (rozszerzeniem) pakietu ArcGis firmy Esri [Neitsch i in. 2004, Neitsch i in. 2005]. Stosuje się go w symulowaniu wpływu podejmowanych decyzji związanych ze zmianami gospodarowania w zlewni rolniczej na wielkości upraw, jakość i ilość zasobów wodnych, ładunki osadów i związków chemicznych w zlewniach lub częściach zlewni. Symulacje te mogą być wykonywane dla zlewni o zróżnicowanych praktykach zarządzania i właściwościach gleby oraz o różnorodnym zagospodarowaniu i ukształtowaniu przestrzennym.

Model pozwala na symulowanie zmian klimatu i wypracowanie alternatywnych metod zarządzania zlewnią rolniczą dla poszczególnych scenariuszy zmian klimatu.

#### MODSIM

MODSIM to ogólnodostępne narzędzie opracowane na uniwersytecie w Kolorado (Department of Civil Engineering, Colorado State University). Jest uznawany za wszechstronny system wspomagania decyzji dla zintegrowanego zarządzania gospodarowaniem wodami zarówno powierzchniowymi jak i podziemnymi, w tym również ich jakością.

Wspólne analizowanie oraz modelowanie wód powierzchniowych i podziemnych jest możliwe dzięki połączeniu z modelem wód podziemnych MODFLOW. Modelowanie jakości wód odbywa się natomiast z wykorzystaniem modelu QUAL2E-UNCAS, zintegrowanego z MODSIM.

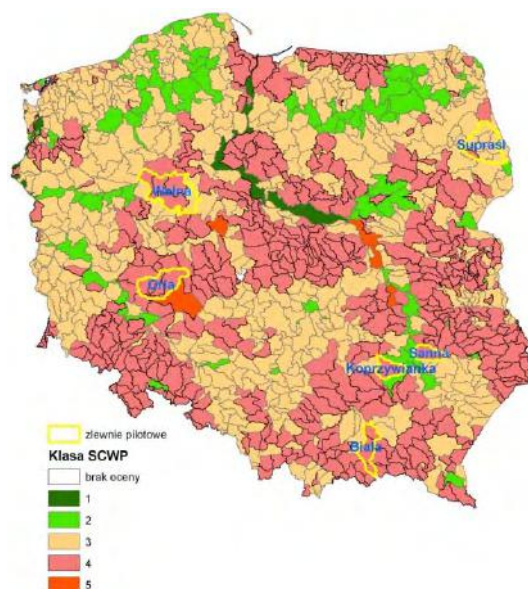
Dodatkowo wersja GEO-MODSIM, zaimplementowana do środowiska ArcGIS, ułatwia konstruowanie sieci rzecznej oraz przestrzenną lokalizację obiektów uwzględnianych w obliczeniach bilansowych.

### **3. Podstawy wyboru zlewni pilotowych**

Zlewnie pilotowe wybrano w oparciu na analizie taksonomicznej, która na podstawie różnych cech opisujących obiekt pozwala na uporządkowanie jednostek pod kątem badanego zjawiska. Na potrzeby prac związanych z wdrażaniem Ra-

mowej Dyrektywy Wodnej pogrupowano jednolite części wód powierzchniowych (JCWP) i wydzielono w Polsce 1065 scalonych części wód powierzchniowych (SCWP). SCWP zostały przyjęte jako podstawowe jednostki podlegające analizie. Wybrano do niej 5 parametrów charakteryzujących potrzeby i 8 charakteryzujących zasoby. Potrzeby, które uwzględniono to m.in. zużycie wody przez przemysł, rolnictwo i gospodarstwa domowe (na podstawie danych statystycznych GUS-u dla gmin), a zasoby – wysokość opadu, gęstość sieci rzecznej, średni przepływ w cieku głównym. Obliczono parametry dla każdej SCWP z wykorzystaniem narzędzia GIS do analiz przestrzennych.

Dla każdej SCWP obliczono odległość od wzorca, procentowy udział poszczególnych parametrów w sumie kwadratów odległości oraz pogrupowano SCWP na 5 klas zagrożenia deficytem wody (klasa 1 – brak zagrożenia, klasa 5 – bardzo duże zagrożenie). Na podstawie wyników wybrano 6 zlewni pilotowych i dopasowano do nich odpowiednie modele (rys. 1).



Rys. 1. Wybrane zlewnie pilotowe na tle klas zagrożenia deficytem wody

W dalszej części przedstawiono przykłady zastosowania modeli dla zlewni pilotowych.

### 3.1. Wykorzystanie modelu MIKE BASIN w zlewni Wełny

Zlewnia Wełny leży na obszarze charakteryzującym się najmniejszymi rocznymi sumami opadów w Polsce (przeciętnie ok. 515 mm/rok), a jednocześnie należy do strefy o największych w Polsce wartościach parowania terenowego. Jest to m.in. przyczyna częstego występowania niżówek na tym terenie, co może skutkować pojawianiem się deficytów wody dla użytkowników (wg analizy taksono-



micznej klasa 4. zagrożenia deficytami wody – zlewnia deficytowa). Badania prowadzone przy wykorzystaniu modelu MIKE BASIN dla zlewni Wełny ukierunkowano na możliwości oszacowania deficytów wody w odniesieniu do zaspokojenia potrzeb wodnych użytkowników.

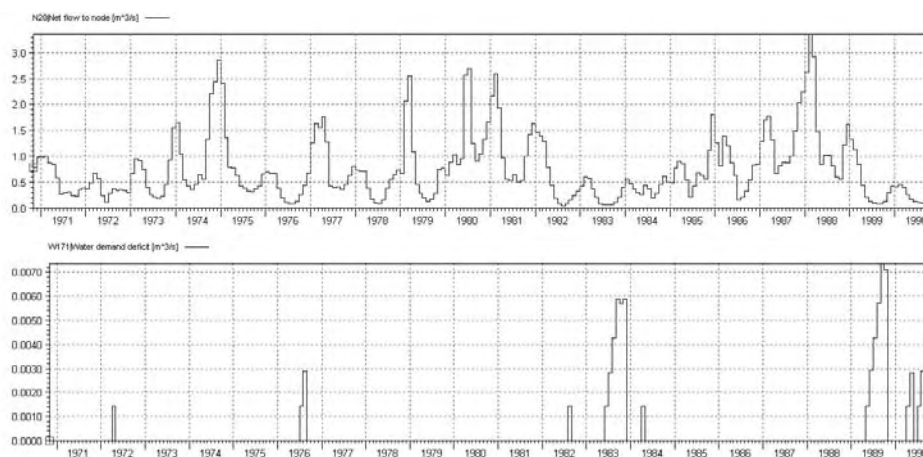
Model MIKE BASIN umożliwia uzyskanie informacji na temat zaspokojenia potrzeb wodnych każdego użytkownika zdefiniowanego w systemie w całym wielecieciu analizy, z założonym krokiem czasowym. Podobnie pozyskuje się także informacje dla poszczególnych węzłów bilansowych systemu rzeczno zdefiniowanych przez użytkownika, również z uwzględnieniem konkretnych potrzeb. Przykłady wizualizacji wyników w modelu MIKE BASIN przedstawiono na rys. 2.

Analiza określonych scenariuszy (odnoszących się zarówno do naturalnych zmian ilościowych zasobów wodnych jak i użytkowania zlewni) pozwala na zbadanie kształtowania się zasobów wodnych i możliwości zaspokojenia potrzeb wodnych w danych warunkach zlewni, również czysto hipotetycznych. Informacje dzięki temu uzyskane mogą być przydatne w pracach planistycznych gospodarowania wodami, zwłaszcza w podejmowaniu działań ukierunkowanych na zapobieganie potencjalnym deficytom wody. Należy jednak podkreślić, że przeprowadzenie analizy wymaga wielu wiarygodnych danych, często trudnych do osiągnięcia.

Informacje uzyskane w wyniku badań modelowych pozwalają na obliczenie na ich podstawie charakterystyk, umożliwiających ocenę stanu ilościowego zasobów wód powierzchniowych pod kątem zaspokojenia potrzeb wodnych użytkowników zlewni, tj.:

- gwarancji czasowej zapewnienia określonego przepływu;
- gwarancji czasowej pokrycia średnich okresowych potrzeb wodnych użytkownika;
- gwarancji objętościowej pokrycia średnich okresowych potrzeb wodnych użytkownika.

Pozyskanie ww. informacji bezpośrednio z modelu jest jednak niemożliwe.



Rys. 2. Przykłady wizualizacji wyników w modelu MIKE BASIN

### 3.2. Wykorzystanie modelu MIKE BASIN w zlewni Supraśli

Implementacja modelu MIKE BASIN dla zlewni Supraśli (rys. 3.) była ukierunkowana na analizę jego zastosowania w aspekcie możliwości przeciwdziałania potencjalnym niedoborom wody przy wykorzystaniu zbiornika wodnego. Chodzi o możliwość przetrzutu wody z położonego w niewielkiej odległości zbiornika Siemianówka, powstałego wskutek spiętrzenia wód Narwi (której dopływem jest Supraśl). Zbiornik ten, przy maksymalnym poziomie piętrzenia, gromadzi wodę w ilości 79,5 mln m<sup>3</sup>. Wody zbiornika mogłyby być wykorzystane do zaspokojenia potrzeb wodnych zlokalizowanego w zlewni Supraśli miasta Białystok (ok. 295 tys. mieszkańców).

Zbiornik wodny w modelu MIKE BASIN jest odzwierciedlany jako jeden z typów użytkowników, dla którego wymagane jest podanie charakterystyk w formie krzywej pojemności i krzywej zalewu zbiornika. Niemniej istotne jest określenie schematu gospodarowania wodą. Lokalizacja zbiornika poza analizowaną zlewnią wymaga ponadto uwzględnienia przetrzutu wody; jako przetrzut są w tym przypadku traktowane wody, które będą kierowane bezpośrednio do zlewni Supraśli.



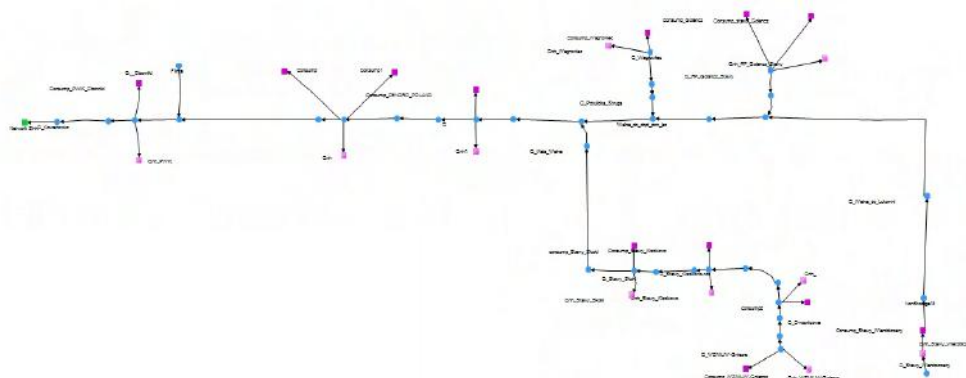
Rys. 3. Odzwierciedlenie struktury rzecznej zlewni Supraśli w modelu MIKE BASIN

Wykorzystanie modelu umożliwia ocenę ilości wody, jaka byłaby konieczna do zdobycia w wyniku przetrzutu ze zbiornika, z uwzględnieniem określonych warunków hydrologicznych, zwłaszcza w sytuacji możliwych do wystąpienia deficytów wody (w czasie suszy). Można również, w oparciu na odpowiednich symulacjach, podejmować próby opracowania gospodarki wodą na zbiorniku, ukierunkowanej na przeciwdziałanie potencjalnym niedoborom wody. Należy jednak podkreślić, że w tym przypadku trzeba uwzględnić również inne funkcje zbiornika, nie tylko zaopatrzenie w wodę.

### 3.3. Wykorzystanie modelu MODSIM w zlewni Wełny

Badania prowadzone przy wykorzystaniu modelu MODSIM w zlewni Wełny miały na celu, podobnie jak w przypadku zastosowania modelu MIKE BASIN, analizę możliwości oceny ilości zasobów wód powierzchniowych pod kątem zaspokojenia potrzeb wodnych użytkowników zlewni.

MODSIM bazuje na uproszczonej strukturze sieci rzecznej; zlewnie rzeczne to jednowymiarowy system węzłów i łuków (rys. 4). Obliczenia są przeprowadzane w oparciu na bilansie masy z określonym krokiem obliczeniowym w kolejnych następujących po sobie krokach czasowych (w przyjętym wieloleciu) dla poszczególnych elementów systemu rzecznej. W okresach niedoborów wody niezbędny jest jej optymalny rozrząd między poszczególnymi użytkownikami, zgodnie z przyjętą hierarchią. Symulacja mechanizmów alokacji zasobów wodnych odbywa się poprzez rozwiązanie problemu optymalizacji sieci przepływowej dla każdego kroku obliczeniowego  $t = 1, \dots, T$ . Optymalizacja wyników przepływu w sieci zachodzi do momentu uzyskania minimalnych deficytów wody w systemie.

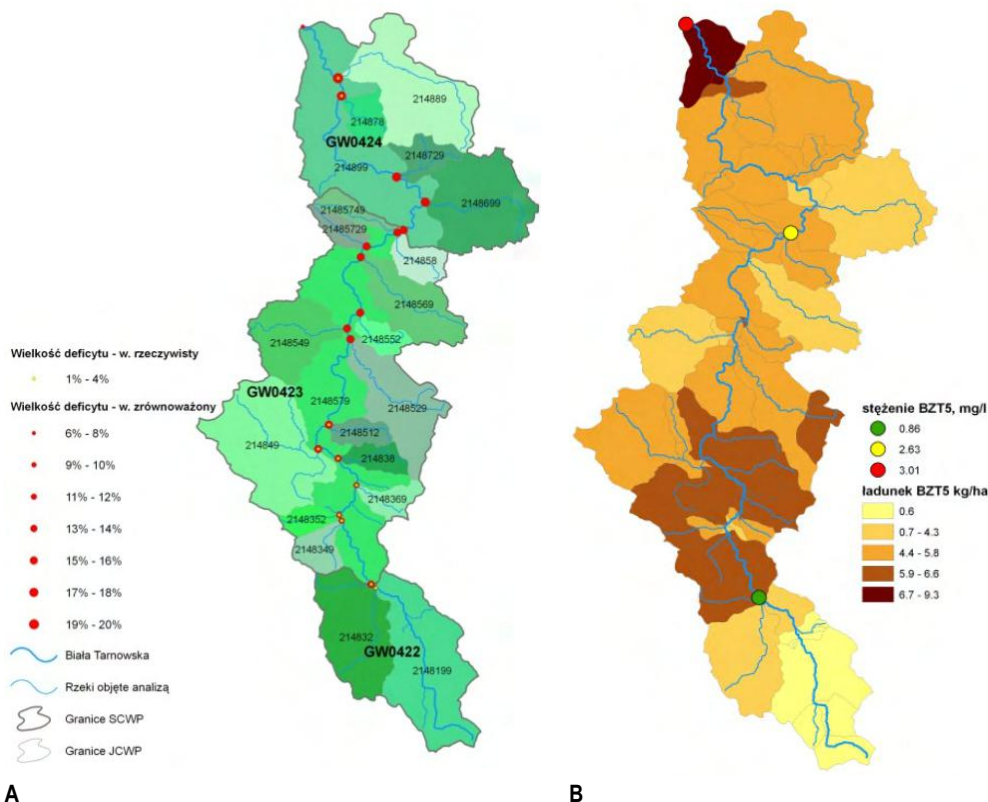


Rys. 4. Schemat modelu MODSIM dla zlewni Wełny

### 3.4. Wykorzystanie modelu MIKE BASIN w deficytowej zlewni Białej Tarnowskiej

Modelowanie wodnogospodarcze może być narzędziem do ustalania zasad polityki gospodarowania wodą dla zlewni zagrożonych deficytem wody. Szczegółowa analiza zlewni, z uwzględnieniem przede wszystkim wariantowego modelowania wodnogospodarczego pozwala określić skuteczność ich stosowania. Opracowanie wariantowych symulacji w zależności od założonych potrzeb użytkowników, w tym środowiska wodnego – wielkość przepływów nienaruszalnych związana z ograniczeniami poboru wód powierzchniowych – pozwala określić m.in. poziom deficytów wody w analizowanych węzłach modelu. Analiza danych opisujących wielkość deficytów (liczba sytuacji, w których modelowany przepływ był mniejszy od ustalonego przepływu nienaruszalnego) w wybranych przekrojach Białej Tarnowskiej wyraźnie wskazuje, że największe deficyty dotyczą sytuacji

niżówkowych przy założonych dużych potrzebach środowiska wodnego i związa-  
nych z nim ekosystemów (wariant zrównoważony).



Rys. 5. Wizualizacja wyników bilansowania w wybranych węzłach Białej Tarnowskiej dla dwóch skrajnych wariantów – rzeczywistego, powstałego na podstawie aktualnego użytkowania z roku 2007 i ograniczeń poborów wód powierzchniowych określonych przepływami nienaruszalnymi (obliczonymi metodą Kostrzewy) i wariantu zrównoważonego, uwzględniającego przyszłe potrzeby wodne użytkowników (w oparciu na pozwoleniach wodnoprawnych) i ograniczenia poborów wód powierzchniowych określone przepływami nienaruszalnymi (obliczonymi metodą Stochlińskiego) [Witowski i in. 2008]. A – wielkości deficytów, B – analiza jakościowa (ładunek obszarowy i stężenie w przekrojach zamykających SCWP)

Dowolność ustalania przepływów nienaruszalnych powoduje, że najczęściej stosowana jest parametryczna metoda Kostrzewy [1977] wg kryterium hydrobiologicznego. Przepływy nienaruszalne obliczane tą metodą nie uwzględniają jednak wymagań stawianych przez prawo unijne [Dyrektywa... 2000] dotyczących stanu wód, jaki ma być osiągnięty do roku 2015.

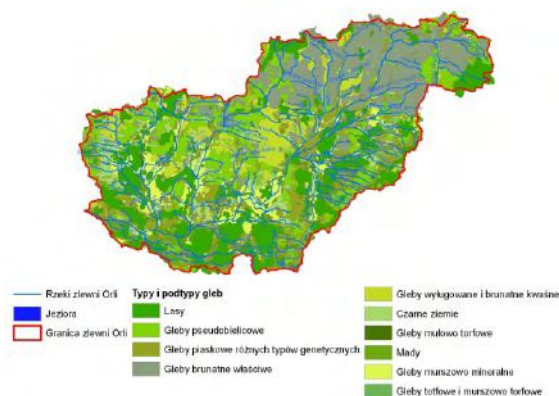
Wariantowe bilanse wodnogospodarcze stają się istotnym elementem gospodarowania wodami w szczególności w przypadku zlewni deficytowych, w których, podobnie jak w Białej Tarnowskiej, znajdują się obszary cenne przyrodniczo (m.in. NATURA 2000). Należy tam uwzględnić dobry stan ekologiczny wód.

Jakościowy moduł w MIKE BASIN umożliwia uwzględnienie w bilansowaniu wodnogospodarczym zarówno zanieczyszczeń obszarowych (nawożenie mineralne i naturalne, ścieki bytowo-gospodarcze wprowadzane do gruntu), jak i punktowych.

### 3.5. Wykorzystanie modelu SWAT w zlewni rolniczej

Do zastosowania modelu SWAT w zlewniach rolniczych wytypowano dwie zlewnie: Sanny (dopływ Wisły, ok. 640 km<sup>2</sup>) i Orli (dopływ Baryczy, ok. 1600 km<sup>2</sup>). Wyboru dokonano na podstawie analizy, która zakwalifikowała je jako zlewnie o dużym zagrożeniu deficytem zasobów wodnych w stosunku do potrzeb intensywnej gospodarki rolnej prowadzonej obecnie na tych terenach.

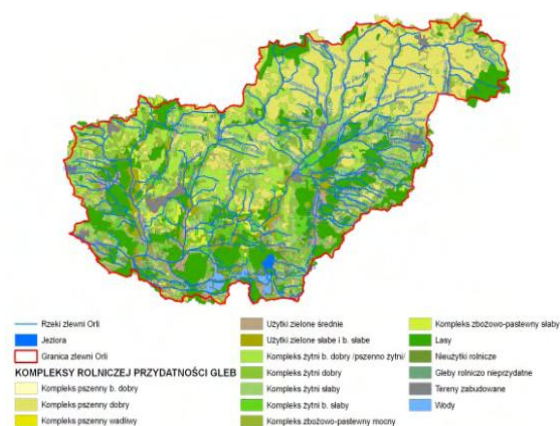
Dla zlewni Orli przygotowano dzienne dane meteorologiczne ze stacji synoptycznej Wrocław (od 1988 do 2010 r.). Dane dotyczące natężenia promieniowania słonecznego pochodzą ze stacji Toruń z lat 1990–2010. Wykorzystano numeryczny model wysokościowy terenu (DEM), o rozdzielczości 90 x 90 m.



Rys. 6. Typy i podtypy gleb w zlewni Orli

Przygotowano mapy glebowo-rolnicze w skali 1:100 000 (rys. 6), które uszczegółowiono i przygotowano jako wektorowe mapy glebowe, będące elementem bazy danych do modelu SWAT. Do mapy gleb konieczne było przygotowanie zestawu danych o właściwościach fizycznych poszczególnych warstw gleby (przewodnictwo hydrauliczne, zapas wody dostępnej dla roślin, gęstość objętościową, albedo, skład granulometryczny). Dane wprowadzono do odpowiednich tabel geobazy modelu.

W zakresie użytkowania terenu wykonano prace na podstawie zdjęć z satelity Landsat, wspomaganych informacjami z map topograficznych. Metodą fotointerpretacji wizualnej wydzielono formy użytkowania terenu. Następnie podzielono grunty orne na poszczególne uprawy. Mapa gleb została uzupełniona o bazę danych z parametrami poszczególnych roślin uprawnych (rys. 7). Procentowy udział poszczególnych upraw w zlewni Orli przedstawiono w tab. 1.



Rys. 7. Kompleksy rolniczej przydatności gleb w zlewni Orli

Pierwszym krokiem uruchamiania modelu SWAT było wprowadzenie numerycznego modelu terenu, wektorowej warstwy cieków, punktu zamykającego zlewnię oraz punktów monitoringu – są to punkty pomiaru przepływów. SWAT tworzy z tego obraz cieków i określa granice zlewni za pomocą narzędzi GIS. Następnie wprowadzono wszystkie wymienione powyżej dane wejściowe.

Tab. 1. Procentowy udział upraw w zlewni Orli

Uprawa	Powierzchnia (%)
pszenica ozima	18,0
rzepak	2,8
pszenica jara	6,1
pszenżyto	12,6
jęczmień	18,0
żyto	12,0
owies	6,2
ziemniaki	2,4
buraki cukrowe	7,6
kukurydza na zielonkę	7,1
kukurydza na ziarno	5,3
warzywa	1,8

Zlewnie są dzielone na zlewnie cząstkowe, a następnie zlewnie cząstkowe – na jednostki zwane jednorodnymi obszarami hydrologicznymi (homogeneous hydrological response units – HRUs), które reprezentują indywidualne kombinacje warunków glebowych, zagospodarowania przestrzennego oraz nachylenia terenu.

Bilans wodny jest obliczany indywidualnie dla każdej z wydzielonych zlewni cząstkowych i obejmuje: opad atmosferyczny, parowanie, spływ powierzchniowy, infiltrację, pobór wód przez roślinność, odpływ podpowierzchniowy, przesiąkanie do różnych warstw wodonośnych.

Kalibrację modelu przeprowadzono na podstawie danych dotyczących dobowych przepływów w przekrojach wodowskazowych. Dane o przepływach (lata 2007–2010) dla zlewni Orli pochodzą z posterunku Irena.

W przypadku zlewni rzeki Orli kalibrację wykonano dla następujących parametrów:

- Rchrg\_Dp – współczynnik przesączania warstwy wodonośnej, wartość progu ilości wody w płytkim poziomie wodonośnym, powyżej której pojawia się zasilanie cieką wodą gruntową;
- Gw\_Delay – opóźnienie dopływu wody z nadległych utworów geologicznych;
- Cn2 – krzywa spływu powierzchniowego.

Po korekcie ww. parametrów uzyskano zgodność przepływów wyznaczonych przez model i przepływów z pomiarów. Uzyskano model zlewni w dużym stopniu zgodny z aktualnym stanem zlewni, a następnie wykonano symulacje i przeanalizowano zmiany plonów po wprowadzeniu prognozowanych danych o opadach i temperaturze w poszczególnych miesiącach dla 3 scenariuszy klimatycznych.

W zlewni Orli, dla wszystkich scenariuszy w kwietniu, maju i czerwcu jest symulowany spadek opadów średnio od kilku do kilkudziesięciu procent (największy dla scenariuszy B1 i A2). Wyniki modelu SWAT symulują niewielki spadek plonów wszystkich upraw, z wyjątkiem żyta (przewidywany jest kilkuprocentowy wzrost plonów).

### **3.6. Wykorzystanie modeli SWAT, NAM i MIKE SHE w deficytowej zlewni Koprzywianki**

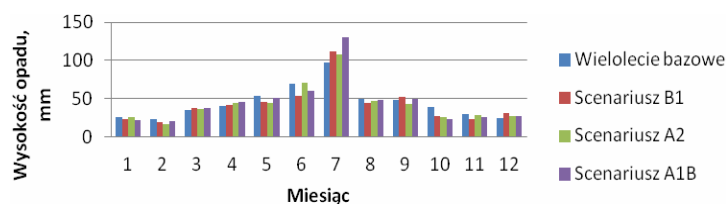
Dla zlewni Koprzywianki, wybranej do porównania wyników modeli typu opad-odpływ (SWAT, NAM, MIKE SHE) przeprowadzono symulacje dla zmian klimatu; wykorzystano dane wygenerowane w modelu SWAT (wielkość opadu, współczynnik powierzchni liści LAI, ewapotranspiracja) jako dane wejściowe do modeli NAM i MIKE SHE.

Jednym z podstawowych kroków w uruchomieniu modelu MIKE SHE było wprowadzenie danych charakteryzujących zlewnię Koprzywianki, tj. numerycznego modelu terenu, danych hydrograficznych – wektorowej warstwy cieków, granicy zlewni wraz ze zlewniami elementarnymi. Przy modelowaniu przepływu w Koprzywiance zastosowano model MIKE 11, do którego użyto danych stałych i zmiennych w czasie z wykorzystaniem edytorów:

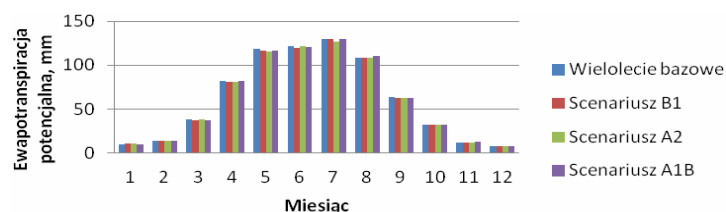
- sieci rzecznej,
- przekrojów poprzecznych,
- warunków brzegowych,
- parametrów hydrodynamicznych

Symulacje przeprowadzone dla zlewni Koprzywianki pozwoliły na ocenę wpływu zmian klimatu na odpływ ze zlewni.

Na rys. 8 i 9 przedstawiono miesięczną wysokość opadu i ewapotranspiracji potencjalnej, obliczoną na podstawie wyników modelu SWAT.



Rys. 8. Średnia miesięczna wysokość opadu dla wielolecia bazowego i scenariuszy klimatycznych – model SWAT



Rys. 9. Średnia miesięczna wysokość ewapotranspiracji potencjalnej dla wielolecia bazowego i scenariuszy klimatycznych – model SWAT

Tab. 2. Wyniki symulacji przepływu w przekroju zamykającym Koprzywiankę w porównaniu z prognozowanymi zmianami wysokości opadu

Miesiąc	Przepływ średni z wielolecia bazowego (m <sup>3</sup> /s)	Przepływ średni wg. scenariusza A2, (m <sup>3</sup> /s)	Procentowa zmiana wysokości opadu wg. ECHAM5
1	2,68	2,43	-3
2	2,48	1,97	-30
3	3,35	2,85	3
4	2,46	2,53	11
5	1,92	1,49	-18
6	2,81	2,59	1
7	3,94	4,60	11
8	2,24	2,36	-4
9	2,84	2,66	-10
10	2,64	1,78	-35
11	2,55	2,00	-4
12	2,54	2,29	7



Na podstawie tych danych obliczono przepływ w przekrojach węzłowych podzlewni Koprzywianki. W tab. 2 zestawiono wyniki dla przekroju zamykającego zlewnię dla wielolecia bazowego i scenariusza A2 niekorzystnego jeśli chodzi o rozkład zmian opadu. Wyniki te świadczą o prawidłowej reakcji modelu na wprowadzone zmiany klimatyczne.

#### **4. Podsumowanie**

W ramach projektu KLIMAT przetestowano na zlewniach pilotowych wybrane modele pod kątem możliwości zastosowania ich w bilansowaniu wodnogospodarczym. Analizy prowadzone w poszczególnych zlewniach ukierunkowano na problemy mogące się pojawić w obliczu zmian klimatu.

Stwierdzono, że modele matematyczne, będące próbą szczegółowego opisu procesów związanych z cyklem obiegu wód w środowisku oraz określenia wzajemnych powiązań i relacji między nimi, a także ustalenia form kwantyfikacji wielkości charakterystycznych dla oceny stanu ilościowego i jakościowego zasobów wodnych – są przydatnym narzędziem do uzyskania szczegółowych informacji na temat kształtowania się zasobów wodnych w odniesieniu do stanu rzeczywistego i perspektywicznego (w tym również wpływu potencjalnych zmian klimatu). Należy jednak nadmienić, że uruchomienie modeli, wprowadzenie odpowiednich danych w odpowiednich formatach oraz kalibracja nie jest sprawą prostą zwłaszcza w przypadku rozbudowanych modeli typu opad -odpływ. Dlatego też równie cenne jak wyniki modelowania jest doświadczenie zdobyte przez zespół wdrażający, które może posłużyć do szybkiego uruchomienia modelu wspomagającego decydentów w zarządzaniu regionem wodnym lub zlewnią.

# **Wnioski dla koncepcji adaptacyjnego zarządzania zasobami wodnymi**

*Roman Konieczny, Maciej Maciejewski, Małgorzata Siudak,  
Tomasz Walczykiewicz*

## **1. Adaptacyjne zarządzanie zasobami wodnymi a implementacja zasad ZZZW**

Zgodnie z definicją przytoczoną we *Wprowadzeniu*, adaptacyjne zarządzanie zasobami wodnymi to systematyczny proces doskonalenia zarządzania poprzez analizę efektów wdrożonych strategii wodnych, z uwzględnieniem niepewności związanych z prognozami. Wprowadzenie tego procesu to wynik zwiększającej się liczby problemów, jakie stają przed zarządzającymi gospodarką wodną, co powoduje, że implementacja zasad ZZZW bywa utrudniona z powodu nieuwzględniania niepewności różnych zjawisk mających na nią wpływ. W procesie adaptacyjnego zarządzania są brane pod uwagę m.in. warunki lokalne i zmiany klimatyczne. Działania podejmowane w ramach tego procesu ulegają zmianom, są dostosowywane do bieżących i prognozowanych warunków. Proces adaptacyjnego zarządzania ma iteracyjny charakter i składa się z czterech głównych faz [Pahl-Wost i in. 2005]: partycypacyjnej oceny, partycypacyjnego formułowaniu polityki, implementacji polityki i monitoringu oraz ewaluacji. Jego podstawową cechą jest szeroki udział interesariuszy we wszystkich fazach. Adaptacja do zmian klimatycznych i działania z nią związane pozwolą na ograniczenie ryzyka wystąpienia strat.

## **2. Podstawowe wymagania**

Proponowany model zarządzania wymaga [Walczykiewicz 2010]:

- decentralizacji procesu zarządzania i przyjęcia odpowiedniej skali obszarowej. W polskich warunkach obszar dorzecza i regionu wodnego jest zbyt duży i konieczne jest przyjęcie zlewni hydrograficznych jako bazy dla implementacji działań;
- zapewnienia na tym poziomie powszechnego dostępu do informacji i danych oraz ich sukcesywnego uzupełniania;
- prowadzenia analiz uwzględniających aspekty transgraniczne i wielosektorowe;

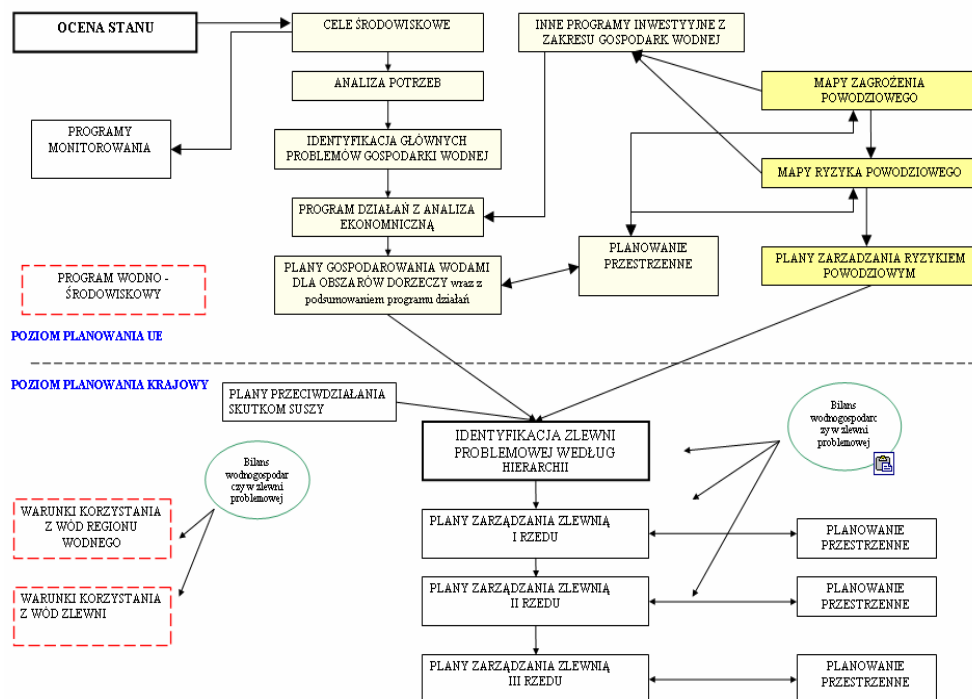
- udziału różnych źródeł finansowania – od środków publicznych po prywatne.

Nie jest możliwe całkowite uregulowanie procesu planowania aktami prawnymi; konieczne jest zachowanie pewnej legislacyjnej swobody. Pełna „automatyzacja” procesu, niewątpliwie wygodna z uwagi na wyznaczanie zadań, ich kontrolę i egzekwowanie, może prowadzić do uogólnień i uproszczeń. Ograniczenie możliwości indywidualnego traktowania problematyki planowania, wynikające np. ze specyfiki obszaru, może doprowadzić do zablokowania tego procesu. Aplikacja adaptacyjnego zarządzania zasobami wodnymi wymaga ponadto:

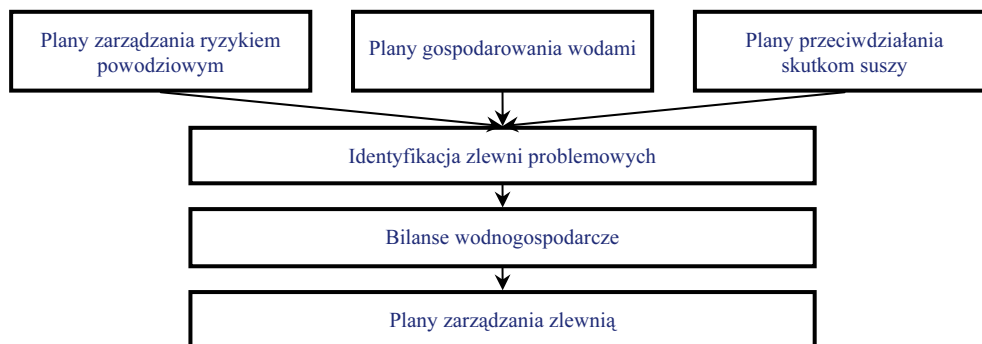
- uproszczenia procesu planowania;
- integracji planowania w gospodarowaniu wodami z planowaniem przestrzennym i politykami sektorowymi;
- przyjęcia zasady, że planowanie wg RDW jest procesem ciągłym, realizowanym w sześcioletnich cyklach; między poszczególnymi edycjami planów następuje ocena wyników, wprowadzanie zmian, w tym wynikających z identyfikacji nowych danych, kolejnych analiz uzupełniających a także zmian wynikających m.in. z poprawy stanu wód i weryfikacji podziału na jednolite części wód;
- przyjęcia zasady, że planowanie jest procesem dynamicznym, a akty prawne regulujące zagadnienie planowania powinny tę dynamikę uwzględniać i być przede wszystkim otwarte na cykliczność planów i możliwość ciągłej weryfikacji;
- ustalenia, że proces planowania musi być wspierany pracami badawczymi poszukującymi nowych technik i doskonalącymi narzędzia oceny stanu wód, a także instrumenty do jego poprawy, w związku z czym akty prawne muszą uwzględniać takie możliwości;
- pełnego zdefiniowania podstawowych pojęć związanych z procesem planowania, dzięki czemu akty prawne będą czytelne i jednoznaczne;
- przyjęcia zasady, że planowanie musi być procesem systematycznym, stąd akty prawne nie powinny podlegać częstej weryfikacji i zmianom;
- ustalenia, że akty prawne powinny odgrywać rolę koordynującą, wyraźnie definiować podstawowe składniki planów, podmioty odpowiedzialne za ich przygotowanie.

Proponowany system planowania w gospodarowaniu wodami w Polsce uwzględniający poziom UE i poziom krajowy przedstawiono na rys. 1.

Struktura organizacyjna planowania procesu powinna umożliwić włączenie (w większym stopniu) przedstawicieli administracji wodnej w proces realizacji zadań tak, aby ich udział nie ograniczał się jedynie do formułowania specyfikacji i odbioru wykonanych prac wraz z ich opiniowaniem. Optymalne byłoby osiągnięcie takiej równowagi w działaniach, która z jednej strony zapewni wsparcie procesu planowania przez jednostki naukowe – w postaci cząstkowych prac, a z drugiej włączy przedstawicieli administracji w formułowanie dokumentów ostatecznych (rys. 2).



Rys. 1. Proponowany system planowania w gospodarowaniu wodami w Polsce



Rys. 2. Proponowany schemat planowania w gospodarowaniu wodami w Polsce

Skala terytorialna prac wymaganych RDW skupia się na obszarach dorzeczy, a nie na poszczególnych zlewniach, gdzie aplikacja zasad byłaby łatwiejsza i możliwa do powiązania z lokalnym planowaniem przestrzennym. Proponowany schemat planowania, uwzględniający wymienione wymagania zamieszczono poniżej.

Biorąc pod uwagę mechanizmy adaptacyjne do zmian klimatu w procesie planowania, w szczególności konieczne jest uwzględnienie następujących aspektów:

- priorytetową kwestią jest osiągnięcie postępów w celu pełnego wdrożenia Ramowej Dyrektywy Wodnej,
- podstawym problemem jest nieskuteczna polityka w zakresie cen wody, która właściwie nie odzwierciedla stopnia wrażliwości kwestii zasobów wodnych na poziomie lokalnym,
- planowanie przestrzenne jest również jednym z głównych czynników wpływających na zużycie wody,
- w Europie wciąż marnuje się co najmniej 20% wody z powodu nieskutecznego gospodarowania jej zasobami,
- dalsze włączanie problematyki wodnej do polityk dotyczących sektorów związanych z wodą odgrywa nadrzędną rolę w działaniach na rzecz kultury oszczędzania wody.

### **3. Wspomaganie działań adaptacyjnych podejmowanych w skali lokalnej**

Działania adaptacyjne do zmian klimatu powinny być podejmowane przez jednostki, na które te zmiany będą wpływały, czyli przez mieszkańców, małe i duże przedsiębiorstwa, zakłady usługowe, środowisko naturalne itd. Te jednostki nie są jednak w stanie poradzić sobie bez wsparcia środowisk naukowych i administracji państwowej, które z jednej strony mogą dostarczać prognozy zmian klimatu oraz proponować metody pozwalające na ograniczenie wpływu zmian klimatu, a z drugiej mają kompetencje i narzędzia by rozpowszechniać te informacje i w oparciu na ogólnej diagnozie zaproponować działania, które ułatwią zagrożonym jednostkom wdrożenie działań adaptacyjnych.

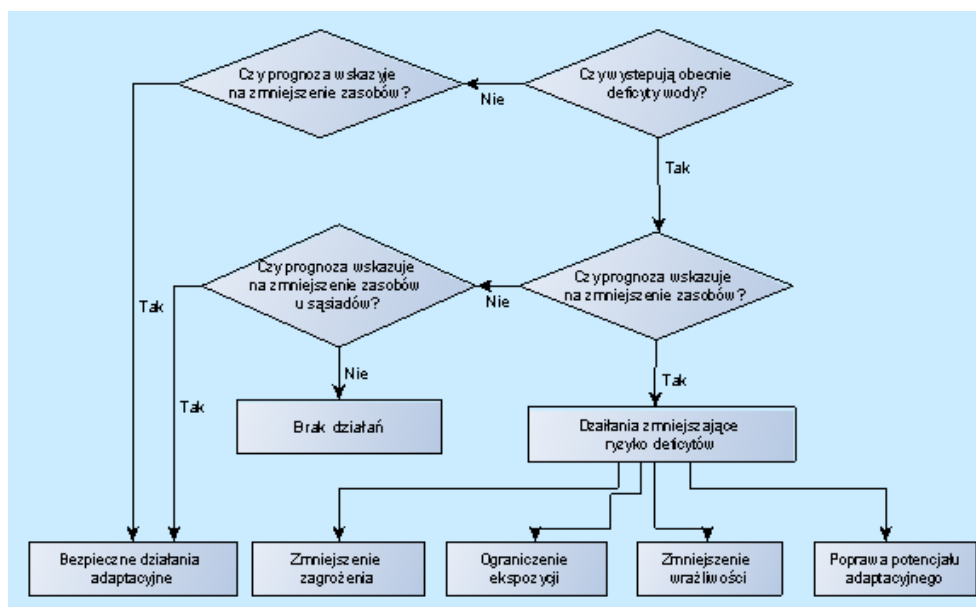
Do ważnych danych, niezbędnych dla lokalnych społeczności do lepszego przygotowania się do prawdopodobnych zmian klimatu, należą informacje:

- dotyczące aktualnej i prognozowanej sytuacji w zakresie deficytów wody na obszarze kraju i w poszczególnych regionach w różnej perspektywie czasowej (na podstawie obecnych i prognozowanych zapotrzebowań na wodę oraz obecnych i prognozowanych zasobów wodnych);
- dotyczące niepewności prognoz w zakresie: deficytów, zasobów oraz potrzeb
- dotyczące dziedzin (sfer życia społecznego i gospodarczego), na które zmiany klimatu i deficyty wody będą miały istotny wpływ, w szczególności wskazanie miejsc, w których mogą powstać problemy w realizacji planów rozwoju, spowodowane ograniczonymi zasobami wody
- dotyczące wrażliwości różnych sektorów gospodarki na niedobory wody
- dotyczące możliwych działań adaptacyjnych (stosowanych w innych krajach oraz wynikających z polskich doświadczeń w miejscach, gdzie aktualnie istnieją deficyty wody) obejmujących zwłaszcza działania podstawowe, czyli takie, których zastosowanie dzisiaj przyniesie w przyszłości korzyści, niezależnie od tego czy prognozy się sprawdzą czy nie.

Aktywność samorządów, zmierzająca do wprowadzenia działań ograniczających wpływ zmian klimatu na lokalny rozwój, opierałaby się na autoocenie sytuacji, w której wykorzystano by informacje opisane wyżej. Pozytywne wyniki oceny, wskazujące na możliwość wpływu zmian klimatu na lokalną sytuację, prowadziłyby do zmiany strategii rozwoju, wprowadzenia działań adaptacyjnych lub jednego i drugiego. Można przyjąć, że najbardziej narażone na skutki zmian klimatu w perspektywie 20–30 lat byłyby samorzady, na terenie których występują już obecnie kłopoty z zaspokojeniem potrzeb wodnych.

W ramach wspomnianej autooceny sytuacji działania gminy mogłyby być następujące:

- identyfikacja obecnych problemów w zakresie zaspokojenia potrzeb wodnych wszystkich użytkowników (wliczając w to środowisko);
- sprawdzenie czy gmina leży na obszarze, na którym według prognozy może wystąpić zmniejszenie zasobów wodnych;
- w przypadku wystąpienia obu sytuacji, gmina mogłaby podjąć kroki, które powinny obejmować działania zarówno zmierzające do poprawy obecnej sytuacji, jak i ograniczające wpływ klimatu na lokalną gospodarkę i społeczność w przyszłości
- w przypadku wystąpienia tylko jednego z zagrożeń, powinny być podjęte działania adaptacyjne, które niezależnie od rozwoju sytuacji (sprawdzenia się prognoz lub nie) dadzą lokalnie korzystny efekt. Należy do nich zaliczyć: dbałość o naturalną retencję na terenie gminy, rozmieszczenie przemysłu i usług wodochłonnych na obszarach, gdzie nie występują problemy z wodą, promowanie oszczędzania wody, edukację środowiskową.



Rys. 3. Schemat blokowy autooceny sytuacji

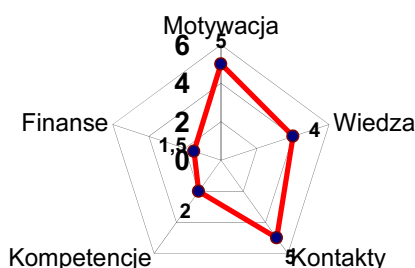
Schemat przedstawiony na rys. 3. byłby podstawą do opracowania strategii na zmiany klimatu.

Pełny obraz możliwości lokalnej społeczności dopełniałaby samoocena potencjału tej społeczności do zmiany. Jej celem byłoby uświadomienie sobie przez badanych (lokalną społeczność, samorząd itd.), czym dysponują, a czego im brakuje, by wdrożyć działania łagodzące skutki zmian klimatu. Proponowana metoda, zaczerpnięta z nauk społecznych [CapHaz-Net... 2009–2012] sugeruje uwzględnienie w czasie samooceny pięciu następujących wymiarów (składających się na tzw. zdolność społeczną lub potencjał społeczny do zmiany):

- **motywacja** (czy mają motywacje do działania, a jeśli tak, to jakie): dotychczasowe doświadczenie z deficytami wody; prowadzenie własnych biznesów korzystających z wody; dzieci, które mają w przyszłości mieszkać na tym terenie),
- **wiedza** (czy mają odpowiednią wiedzę na temat tego, co należy zrobić, by wdrożyć działania, które uważają za skuteczne, np. jak doprowadzić do oszczędzania wody),
- **kontakty** (czy mają odpowiednią sieć kontaktów, powiązań ze społecznością lokalną, które ułatwią akceptację podejmowanych działań, zapewnią udział społeczny, promocję tych działań)
- **kompetencje** (czy mają możliwości, kompetencje do oddziaływania) – powinny dotyczyć nie tylko narzędzi formalnych, którymi dysponują, ale i nieformalnych – również możliwości oddziaływania,
- **środki finansowe** (czy mają dostęp do środków finansowych lub wiedzą, że na niektóre źródła finansowania mogą oddziaływać).

Pomiar na każdym z wymiarów byłby wykonywany na 5-stopniowej skali Likerta, gdzie np. 1 – brak motywacji, a 5 – silna motywacja.

Wynik przedstawiony graficznie uświadamiałby lokalnej społeczności ich mocne i słabe strony w kontekście przewidywanych zmian.



Rys. 4. Graficzne przedstawienie samooceny

Badanie należałoby przeprowadzić z dwoma grupami: a) z przedstawicielami samorządu lokalnego i służb podlegających samorządowi (np. przedsiębiorstwo

wodociągowe), b) z przedstawicielami lokalnej społeczności reprezentującymi mieszkańców i innych użytkowników, którzy mogą być zagrożeni deficytem wody (sektor prywatny) lub dotknięci przewidywanymi działaniami adaptacyjnymi.

Takie badanie pozwalałoby lokalnej społeczności stwierdzić, w jakim zakresie poradzi sobie sama, a w jakim powinna szukać pomocy w innych jednostkach np. administracji państwowej, sektorze prywatnym itd. Zaproponowana procedura pozwala także na wybór działań adaptacyjnych dostosowanych do lokalnych warunków i możliwości.



## Kierunki wykorzystania wyników prac

*Magdalena Kwiecień, Jadwiga Łaciak, Maciej Maciejewski,  
Tomasz Walczykiewicz*

W ostatnich latach w gospodarce wodnej następują przewartościowania. Wzrasta waga środowiska naturalnego jako użytkownika zasobów wodnych, zmienia się podejście do zagrożeń naturalnych, rozważane są potrzeby działań adaptacyjnych do ewentualnych zmian klimatu. Warto w tym kontekście rozważyć i od nowa ustalić hierarchię ważności poszczególnych zadań gospodarki wodnej, takich jak:

- zaopatrzenie w wodę ludności, rolnictwa oraz przemysłu;
- ochrona zasobów wodnych oraz utrzymywanie lub poprawa ekosystemów wodnych i od wód zależnych;
- ochrona przed zagrożeniami naturalnymi (powódzie, susze);
- zaspokojenie potrzeb związanych z turystyką wodną i rekreacją;
- tworzenie warunków do energetycznego i transportowego wykorzystania wód.

Zgodnie z założeniami przyjętymi w Projekcie i wymaganiami programu operacyjnego, jego wyniki powinny być udostępnione na drodze określonej komercjalizacji.

Przez **komercjalizację** rozumie się całokształt działań związanych z przeniesieniem wyników badań do praktyki gospodarczej i społecznej, natomiast **rezultaty** opisują efekty uzyskane w wyniku realizacji Projektu, które powinny ściśle odnosić się do jego zakresu i postawionego w nim celu.

Przewodnik *Komercjalizacja B+R dla praktyków* [2010] wymienia trzy podstawowe sposoby komercjalizacji wyników prac badawczych i rozwojowych:

- Sprzedaż wyników;
- Udzielenie licencji na wyniki prac;
- Wniesienie wyników do spółki.

Do podstawowych odbiorców wyników badań można zaliczyć:

- Jednostki administracji wodnej;
- Ministerstwa i urzędy centralne;

- Samorządy wszystkich szczebli;
- Operatorów wodnokanalizacyjnych;
- Podmioty gospodarcze.

Pełna realizacja celu zadania, czyli opracowanie strategii zrównoważonego gospodarowania zasobami wodnymi w świetle potencjalnych zmian klimatu wraz z wytycznymi dla planowania przestrzennego będzie możliwa po skomercjalizowaniu oraz wdrożeniu w różnych formach m.in. następujących rezultatów zadania:

- warstw grid obrazujących hipotetyczne procentowe zmiany odpływu jednostkowego w okresie 2011–2030 w stosunku do lat 1971–1990 dla 3 scenariuszy zmian klimatu – A2, A1B, B1 dla obszaru Polski oraz metodyka ich przekształcenia do dowolnych obszarów;
- warstw grid obrazujących hipotetyczne wartości odpływu jednostkowego w okresie 2011–2030 dla 3 scenariuszy zmian klimatu A2, A1B, B1 dla obszaru Polski oraz oprogramowanego algorytmu obliczania odpływu dla dowolnych przekrojów hydrograficznych;
- warstw GIS wodowskazów reprezentujących zlewnie bilansowe wyznaczone przez RZGW oraz jednostki fizycznogeograficzne podziału kraju wg Kondrackiego, wraz z informacją o okresach obserwacyjnych w tych przekrojach i charakterystykach hydrologicznych;
- analiz trendów zmian w zużyciu wody w wybranych sektorach przemysłu przetwórczego;
- warstw numerycznych gleb wraz z ich charakterystyką oraz warstw numerycznych form użytkowania terenu wraz z danymi o strukturze upraw dla zlewni pilotowych Orli i Sanny;
- opracowania programów wzorcowych działań w celu osiągnięcia dobrego potencjału ekologicznego dla silnie zmienionych części wód na podstawie katalogu;
- metodyk i procedur modelowania z wykorzystaniem MIKE BASIN, MIKE SHE, SWAT, MODSIM;
- metodyk opracowywania prognoz potrzeb wodnych, uwzględniających scenariusze rozwoju społeczno-gospodarczego (scenariusze emisyjne);
- metodyk określania rodzajów działań naprawczych (w tym renaturyzacyjnych), mających za zadanie zmniejszenie negatywnego oddziaływania zmian klimatu na obszary cenne przyrodniczo i atrakcyjne turystycznie;
- strategii ochrony zasobów wód powierzchniowych i podziemnych dla zaspokojenia podstawowych potrzeb wodnych ludności, rolnictwa i przemysłu, z uwzględnieniem planowanego rozwoju społeczno-gospodarczego;
- metodyk zarządzania zlewnią rolniczą z wykorzystaniem modelu SWAT;
- metodyk identyfikacji zmian hydromorfologicznych wywoływanych przez budowle hydrotechniczne i działania wodnospodarcze;
- ocen wpływu inwestycji hydrotechnicznych na ekosystemy wód płynących.

Potencjalnymi odbiorcami rezultatów zadania mogą być zarówno ministerstwa: środowiska, rolnictwa, rozwoju regionalnego, jak i administracja lokalna i samorządowa, uczelnie wyższe, towarzystwa ubezpieczeniowe, ośrodki doradztwa rolniczego, gminy z intensywną uprawą gruntów rolnych, w tym także gminy w zlewni Orli i Sanny oraz KZGW i RZGW. Dla wybranych metodyk odbiorcami będą administratorzy cieków i budowli hydrotechnicznych, zespoły IMGW-PIB wykonujące zadania wynikające z monitoringu hydromorfologicznego, planiści i projektanci hydrotechnicznej zabudowy rzek i potoków, użytkownicy wód. Opracowana w zadaniu 3. strategia może być narzędziem wspomagającym sporządzanie planów i programów rozwoju na wszystkich szczeblach administracji.

Kolejnymi istotnymi elementami są: utrzymanie trwałości rezultatów i zapewnienie promocji wyników.

Utrzymanie trwałości rezultatów zadania w następnych latach po zakończeniu Projektu powinno być zapewnione przez:

- implementację wyników prac w kolejnych cyklach planistycznych wynikających z dyrektywy 2000/60/WE i 2007/60/WE w ramach zamówień realizowanych na rzecz jednostek administracji gospodarki wodnej,
- ekspertyzy, analizy, bilanse wodnogospodarcze wykorzystujące wyniki Projektu,
- wydanie poradnika dla przedsiębiorstw wykonawczych, określającego niezbędne zabiegi techniczne zalecane w działaniach kompensujących straty ekologiczne wywołane przez inwestycje hydrotechniczne,
- wydanie poradnika dotyczącego zagrożeń terenów chronionych w związku ze zmianami klimatu.

Promocja rezultatów powinna być realizowana przez:

- organizację seminariów i konferencji dla przedstawicieli środowisk naukowo-badawczych i zawodowych związanych z gospodarką wodną,
- referaty i publikacje w materiałach konferencyjnych,
- publikacje w periodykach i czasopismach specjalistycznych
- utrzymanie strony internetowej Projektu – zamieszczanie raportów i ekspertyz wykonanych w ramach zadania
- publikacje w postaci broszur informacyjnych dotyczących wyników poszczególnych podzadań cząstkowych,
- wydanie materiałów informacyjnych dla poszczególnych ministerstw i urzędów centralnych, które wyraziły zainteresowanie wynikami Projektu,
- wydanie materiałów informacyjnych dla szkół.

Odmienne założenia odnośnie do otoczenia gospodarki wodnej skutkują różnymi wizjami jej rozwoju [Impacts of... 2008].

Wykorzystanie wyników otrzymanych w zadaniu powinno uwzględniać wypracowane różnice między scenariuszami wodnymi [Flörke, Alcamo 2004]. Istotne zwiększenie rangi polityki wodnej jest możliwe tylko w scenariuszu B1 i tylko w nim prawdopodobne jest szersze wdrożenie zasad zintegrowanego zarządzania

zasobami wodnymi. Ochrona przed powodzią i suszą pozostanie istotnym zadaniem gospodarki wodnej we wszystkich scenariuszach. Zmiany w podejściu do zagrożeń naturalnych, takie jak: skupienie się na zarządzaniu ryzykiem zamiast na próbach wyeliminowania go, czy rozłożenie odpowiedzialności za bezpieczeństwo na wszystkie zainteresowane podmioty będą zachodzić wolno. Najwolniej w scenariuszu A2. W każdym scenariuszu będą dominować nieco inne grupy instrumentów zarządzania gospodarką wodną. W scenariuszu A1B przeważać będą instrumenty ekonomiczne oraz prawne i administracyjne, w A2 prawne i administracyjne, a w B2 społeczne oraz prawne i administracyjne. Warto pamiętać, że różna ranga polityki wodnej (gospodarki wodnej) w poszczególnych scenariuszach sprawia, że różne są też możliwości wykorzystania poszczególnych instrumentów zarządzania w tych scenariuszach. W potrzebach wodnych ludności w scenariuszach od A2 przez A1B do B1 będą malały straty wody w sieci, a wzrastał będzie procent ludności zwodociągowanej. Potrzeby wodne rolnictwa w scenariuszu A2 i A1B będą nieznacznie większe niż obecnie, a w scenariuszu B1 nieco się zmniejszą. Stosowanie wodooszczędnych technologii do nawodnień będzie możliwe przede wszystkim w scenariuszu zrównoważonym – B1. We wszystkich scenariuszach jest możliwy znaczący spadek potrzeb wodnych energetyki ciepłej. Jednak zakładany rozwój energetyki *nuklearnej*, szczególnie w scenariuszu A1B, wykorzystującej duże ilości wody do celów chłodniczych, może zniwelować oszczędności w energetyce tradycyjnej. W efekcie zmiany potrzeb wodnych energetyki będą niewielkie we wszystkich scenariuszach.

W każdym z nich zakłada się znaczny wzrost potrzeb wodnych przemysłu. Zmienna będzie jego struktura. W scenariuszach od A2 przez A1B do B1 zmniejszać się będzie udział przemysłu ciężkiego na rzecz tych podsekcji przetwórstwa przemysłowego, które charakteryzują się małą wodochłonnością i dużą wartością dodaną brutto. Dla środowiska najkorzystniejszym scenariuszem jest B1, a dla gospodarki – A1B, przy czym scenariusz A1B jest umiarkowanie korzystny dla środowiska.

## Literatura

- Analiza skutków ekonomicznych zmiany klimatu w wybranych gałęziach przemysłu, 2011, Szkoła Główna Handlowa, Warszawa (praca wykonana na potrzeby projektu KLIMAT)
- Atlas hydrologiczny Polski, 1987, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, t. I, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa
- Atlas zasobów walorów i zagrożeń środowiska geograficznego Polski, 1994, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Agencja Reklamowo-Wydawnicza A. Grzegorzcyk, Warszawa
- Bank Danych Regionalnych, [www.stat.gov.pl/]
- Bański J., 2007, Przemiany funkcjonalno-przestrzenne terenów wiejskich – diagnoza, rekomendacje dla KPZK i dyskusja, Zespół Badań Obszarów Wiejskich, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa
- Barszczyńska M., Madej P., Kubacka D., 2010, Użycie technik GIS do szacowania zasobów wód powierzchniowych w skali kraju, w: Roczniki Geomatyki, t. VIII, z. 5 (41), Polskie Towarzystwo Informatyki Przestrzennej, Warszawa, 23–30

- Biuletyn Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej, 2009, IMGW
- Byczkowski A., 1999, Hydrologia, Wydawnictwo SGGW, Warszawa
- CapHaz-Net, 2009–2012 [http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/project\\_summaries/fp7/natural\\_hazards/caphaznet.pdf](http://ec.europa.eu/research/environment/pdf/project_summaries/fp7/natural_hazards/caphaznet.pdf)
- Dickinson R.E., Henderson-Sellers A., Kennedy P.J., 1993, Biosphere atmosphere transfer scheme (BATS) version 1e as coupled to the NCAR community climate model, National Center for atmospheric research Boulder, Colorado
- Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej zwaną Ramową Dyrektywą Wodną
- Dyrektywa 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu
- Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim
- Dyrektywa 2008/56/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 czerwca 2008 r. ustanawiająca ramy działań Wspólnoty w dziedzinie polityki środowiska morskiego
- Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk oraz dzikiej fauny i flory
- Ekspertycki Projekt Koncepcji Przestrzennego Zagospodarowania Kraju do roku 2033, 2008, Warszawa
- Flörke M., Joseph Alcamo T., 2004, Final Report, 1, European Outlook on Water Use
- Global Environment Outlook 4. Environment for development, 2007, UNEP, Nairobi [<http://www.unep.org/geo/geo4/>]
- Herbich J. (red.), 2004, Poradniki ochrony siedlisk i gatunków Natura 2000 – podręcznik metodyczny, t. 1-5, Ministerstwo Środowiska, Warszawa
- Iglesias A. i in., 2007, Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector AGRI-2006-G4-05, AEA Energy & Environment and Universidad de Politécnica de Madrid
- Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment, 2008, EEA Report, European Communities, Copenhagen
- IPCC Special Report on Emission Scenarios, 2000, ed. Nebojsa Nakicenovic, Intergovernmental Panel of Climate Change, [<http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>]
- Kapiszewski M., Bijak J., 2010, Kierunki rozwoju obszarów wiejskich. Założenia do Strategii Zrównoważonego Rozwoju Wsi i Rolnictwa. Zmiany i problemy demograficzne a rozwój przestrzenny, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Warszawa
- Karaczun Z., Wójcik B., 2009, Dobry klimat dla rolnictwa? Publikacja o zmianach klimatu dotyczących rolnictw, Instytut na rzecz Ekorozwoju, Warszawa
- Kiełbasa W., 2009, Lokalizacja elektrowni jądrowych w Polsce, HYDROENERGO, II Szkoła Reaktorowa, Warszawa
- Kondracki J., 2002, Geografia regionalna Polski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
- Kostrzewa H., 1977, Weryfikacja kryteriów i wielkości przepływu nienaruszalnego dla rzek Polski, Materiały Badawcze – Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód, IMGW, Warszawa
- Kowalik P., Scalenghe R., 2009, Potrzeby wodne roślin energetycznych jako problem oddziaływania na środowisko w Polsce, Water Leeds of energy crops – one of the environmental problems, Politechnika Gdańska, Università degli Studi di Palermo, Lublin
- Kundzewicz Z., Kowalczak P., 2008, Zmiany klimatu i ich skutki, Wyd. Kurpisz, Poznań
- Labadie J., 2006, MODSIM 8.1: River Basin Management Decision Support System, Technical Appendices, Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, Ft. Collins
- Lorenc H. (red.), Atlas klimatu Polski, 2005, IMGW, Warszawa

- Matulla C. i in., 2007, Assessing the impact of a downscaled climate change simulation on the fish fauna in an Inner-Alpine River, *Int. J. Biometeorol.*, DOI 10.1007/s00484-007-0107-6
- MIKE 11, 2009a, A Modelling System for Rivers and Channels – User Guide, DHI
- MIKE 11, 2009b, A Modelling System for Rivers and Channels – Reference Manual, DHI
- MIKE BASIN, 2008, Manual DHI
- MIKE SHE User Manual, 2008a, Volume 1: User Guide, DHI
- MIKE SHE User Manual, 2008b, Volume 2: Reference Guide, DHI
- Nachlik E., 2008, *Gospodarka wodna w kontekście przestrzeni kraju – rekomendacje dla KPZK*, Kraków
- Neitsch S.L. i in., 2004, *Soil and Water Assessments Tool Input/Output File Documentation*, Blackland Research Center Texas Agricultural Experiment Station
- Neitsch S.L. i in., 2005, *Soil and Water Assessments Tool Theoretical documentation* Blackland Research Center Texas Agricultural Experiment Station
- Określenie obszarów, w których wykorzystywanie zasobów wodnych powinno być podporządkowane zachowaniu walorów środowiskowych i rekreacyjnych, uwzględniając w uzasadnionych przypadkach, możliwości renaturyzacji lub rewitalizacji rzek, 2009, projekt KLIMAT, zad. 3, IMGW, Kraków, niepubl.
- Okruszko T., Kijańska M., 2009, *Zmiany klimatu a gospodarowanie wodami*, Wyd. Fundacji H. Bölla Warszawa
- Opracowanie oceny potrzeb wodnych z uwzględnieniem wariantowych prognoz zmian klimatu, 2011, projekt KLIMAT, zad. 3, IMGW, Kraków, niepubl.
- Pahl-Wostl C. i in., 2005, *New methods for adaptive water management under uncertainty – The NeWater project*, Paper in EWRA conference proceedings, Menton
- Plan Rozwoju Obszarów Wiejskich dla Polski, 2004, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Warszawa
- Polityka energetyczna Polski do 2030 r., 2009, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa
- Prognoza oddziaływania na Środowisko dokumentu Polityka energetyczna Polski do 2030 r. Raport końcowy, 2009, Proeko CDM Sp. z o.o., Warszawa
- Przewodnik Komercjalizacja B+R dla praktyków, 2010, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Warszawa, [[http://www.nauka.gov.pl/fileadmin/user\\_upload/ministerstwo/Aktualnosci/20101210\\_KomercjalizacjaBR\\_web2.pdf](http://www.nauka.gov.pl/fileadmin/user_upload/ministerstwo/Aktualnosci/20101210_KomercjalizacjaBR_web2.pdf)]
- Stachy J., 2010, Średnie roczne przepływy Odry i Wisły w latach 1901–2008, *Gospodarka Wodna*, 6/2010
- Stachy J., 2011, Występowanie lat mokrych i posusznych w Polsce (1951–2008), *Gospodarka Wodna*, 8/2011
- Stan i wykorzystanie zasobów wód powierzchniowych Polski, 1996, *Materiały Badawcze – Seria: Gospodarka i Ochrona wód*, nr 20, IMGW, Warszawa – Kraków
- Strategia obszarów wiejskich i rolnictwa na lata 2007–2013, 2005, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Warszawa
- Walczak M. i in., 2001, *Obszary Chronione w Polsce*, Wyd. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa
- Walczykiewicz T., 2010, *Ryzyko w zintegrowanym zarządzaniu zasobami wodnymi*, IMGW, Warszawa
- Weigle i in., 2004, *Wykaz siedlisk i gatunków bezpośrednio uzależnionych od wody wraz z informacją o ich stanie i wymaganiach ochronnych*, Narodowa Fundacja Ochrony Środowiska, Warszawa
- Witowski K i in., 2008, *Obliczanie przepływu nienaruszalnego. Poradnik*, IMGW, Warszawa
- Zarys programu rozwoju gospodarki wodnej wsi i rolnictwa do 2015 r., 2008, IMUZ

Zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko naturalne Polski oraz określenie ich skutków ekonomicznych, 2010, projekt KLIMAT, zad. 1, IMGW, Warszawa, [<http://klimat.imgw.pl/wp-content/uploads/2010/09/zad.1.r2009web.pdf>]

Zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko naturalne Polski oraz określenie ich skutków ekonomicznych, 2011, projekt KLIMAT, zad. 1, IMGW, Warszawa, [[http://klimat.imgw.pl/wp-content/uploads/2011/02/zad.1\\_R2010w.pdf](http://klimat.imgw.pl/wp-content/uploads/2011/02/zad.1_R2010w.pdf)]

### **Podziękowania**

Serdeczne podziękowania za udział w realizacji zadania 3 projektu KLIMAT składamy:

Pracownikom IMGW-PIB Oddział w Poznaniu:

Katarzynie Burdyńskiej, Tomaszowi Grzelce, Pawłowi Terleckiemu.

Pracownikom IMGW-PIB Oddział we Wrocławiu:

Mariuszowi Adynkiewiczowi-Piragasowi, Janowi Błachucie, Annie Bożek, Agnieszce Kolanek, Marzennie Strońskiej.

Autorom ekspertyz:

Krzysztofowi Berbeci, Annie Chmura (PIG-PIB), Januszowi Czerepko (IBL), Dorocie Dobrowolskiej (IBL), Annie Dubel, Piotrowi Herbichowi (PIG-PIB), Markowi Jabłońskiemu (IBL), Marzenie Jarmułowicz-Siekiera (PIG-PIB), Adamowi Kaliszewskiemu (IBL), Januszowi Kindlerowi, Damianowi Korzybskiemu (IBL), Elżbiecie Łasut, Pawłowi Łasut, Zygmunutowi Miatkowskiemu (ITP), Grzegorzowi Mordzonek (PIG-PIB), Jackowi Motyka (PIG-PIB), Małgorzacie Nidental (PIG-PIB), Elżbiecie Przytuła (PIG-PIB), Lidii Razowskiej-Jaworek (PIG-PIB), Karolinie Smarzyńskiej (ITP), Sandrze Sowińskiej (ITP), Damianowi Śliwińskiemu, Marii Śmietance, Jerzemu Wawrzoniak, Grzegorzowi Zajączkowskiemu.





## **CZĘŚĆ II.**

# **WPLYW ZMIAN KLIMATYCZNYCH NA JAKOŚĆ ZASOBÓW WODNYCH WYKORZYSTYWANYCH DO ZAOPATRZENIA LUDNOŚCI W WODĘ**



## **Wprowadzenie**

*Lidia Gutowska-Siwiec*

Możliwości zaopatrzenia ludności w wodę do picia są ściśle związane z wielkością i jakością przyszłych zasobów wodnych, na które znaczący wpływ mają zmiany klimatyczne.

Celem zrealizowanego w ramach projektu KLIMAT zadania 7. pt. *Zagrożenia i uwarunkowania oraz możliwości realizacji krajowego zaopatrzenia w wodę ludności w świetle przepisów Unii Europejskiej* była analiza zagrożeń powodowanych przez zanieczyszczenia wody w aspekcie zmian klimatycznych, możliwości udoskonalenia systemów monitorowania i ostrzegania, określenie kierunków technologicznych uzdatniania zużytej wody oraz uwarunkowań prawno-technicznych usuwania organizmów patogennych z wody i ścieków. Zakres tematyczny prac, wynikający z ogólnego celu zadania, był realizowany w poszczególnych podzadaniach, składających się na całość.

W wodach wykorzystywanych przez człowieka występują różnorodne substancje chemiczne, z których wiele ma toksyczne właściwości dla organizmów żywych, a nawet niebezpieczne dla człowieka. Na zmiany charakterystyki jakościowej wody znaczący wpływ mogą mieć zmiany ilościowe zasobów, spowodowane zmniejszeniem się ilości wód powierzchniowych i związanym z tym mniejszym rozcieńczeniem zanieczyszczeń, zwiększaniem się spływów powierzchniowych z zanieczyszczeniami powierzchniowymi na skutek intensywniejszych opadów oraz wzrostem temperatury wody. Powyższe procesy w pewnych warunkach mogą utrudnić, a nawet uniemożliwić zaopatrzenie ludności w zdrową wodę, o jakości wymaganej przepisami Unii Europejskiej. Woda zdatna do spożycia jest szczególnym przedmiotem uregulowań prawnych w UE. Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/607WE uwzględnia kwestię oceny ryzyka w strategii ochrony wód przed zanieczyszczeniem oraz substancji stanowiących nieakceptowane zagrożenie dla środowiska wodnego lub stanowiącego ryzyko za jego pośrednictwem. Dyrektywa 98/83/EC obliguje państwa członkowskie do zapewnienia odpowiedniej jakości wody przeznaczonej do spożycia, gwarantującej bezpieczeństwo dla zdrowia ludzi. Biorąc to pod uwagę, w ramach realizacji projektu KLIMAT ważne było określenie zanieczyszczeń stwarzających zagrożenie dla zdrowia ludzi, szczególnie w aspekcie wzrostu temperatury wody, badanie procesów zachodzących w odbiornikach i ich opis matematyczny. Szczególnie istotne było wyznaczenie wpływu zmian temperatury na bilans cieplny cieków, zawartość tlenu i reac-

rację, utlenianie materii organicznej, fotosyntezę i respirację, dynamikę glonów i zooplanktonu oraz zanieczyszczenia bakteryjne.

Celem publikacji jest przedstawienie wyników badań i wniosków dotyczących wpływu zmian klimatycznych na wybrane wskaźniki jakości wód powierzchniowych, obejmujące elementy bilansu cieplnego i cykl rozwojowy glonów. Zmiany warunków meteorologicznych mają bezpośredni wpływ przede wszystkim na kształtowanie się warunków termicznych w akwenach, a te z kolei implikują zmiany w przebiegu zjawisk i procesach w nich zachodzących. Temperatura wody jest podstawową wielkością łączącą zmiany klimatyczne z przebiegiem reakcji i zjawisk zachodzących w środowisku wodnym. Jednym z najbardziej wrażliwych na zmiany termiczne elementów środowiska wodnego jest jego biocenoza. Podstawowym czynnikiem kształtującym pozostałe składowe biocenozy są glony. Zmiany przebiegu ich cyklu rozwojowego mają wpływ zarówno na kształtowanie się bilansu tlenowego, jak i na stężenia substancji biogennych.

W publikacji omówiono również zagrożenia dla jakości wód pobieranych na ujęciach oraz wnioski dla zarządzania systemami zaopatrzenia w wodę. W związku z jakością wód powierzchniowych ujmowanych do celów wodociągowych oraz możliwością pojawiania się zanieczyszczeń incydentalnych, nierzadko związanych ze zmianami klimatycznymi, przedstawiono konieczność monitoringu wody surowej, który staje się nieodzownym elementem nowoczesnych systemów zaopatrzenia w wodę. Omówiono możliwości alarmowania o sytuacji zagrożenia i podjęcia środków zaradczych w oparciu na systemach wczesnego ostrzegania, których podstawową funkcją jest wygenerowanie ostrzeżenia umożliwiającego dokonanie zmian technologicznych w procesie uzdatniania wody bądź też, w sytuacjach drastycznych, okresowe wyłączenie ujęcia.

W podsumowaniu zawarto krótką informację o możliwościach szerszego wykorzystania doświadczeń zdobytych w trakcie prac.

## **Metodyka prac**

*Marek Ślesicki, Lidia Gutowska-Siwiec, Paweł Trandziuk*

Obecnie zmiany klimatyczne są obiektem intensywnych badań naukowych. Istnieje wiele hipotez dotyczących zmian klimatu. W raporcie [IPPC 2007] stwierdzono, z prawdopodobieństwem ponad 90%, że powodem zmian klimatycznych jest nadmierna emisja gazów cieplarnianych do atmosfery, co powoduje absorpcję promieniowania odbitego od powierzchni ziemi. Bezpośredni efekt pochłaniania promieniowania przez gazy cieplarniane jest stosunkowo niewielki, jednak efekty wtórne, związane ze zwiększeniem temperatury troposfery i ilości pary wodnej mogą spowodować zmianę w strukturze chmur i znaczące zmiany klimatyczne. Do najważniejszych przewidywanych skutków można zaliczyć: wzrost temperatury, zmiany w rozkładzie i ilości opadów, co doprowadzi do częstszego występowania susz i powodzi, a także wpłynie na zasoby wodne.

Przystępując do realizacji prac, sformułowano uproszczone założenia i na ich podstawie wybrano obiekty reprezentatywne, dla których dokonano szczegółowych analiz.

Założono, że przewidywane zmiany klimatyczne mogą mieć różny wpływ na stan jakościowy zasobów wód powierzchniowych przeznaczonych do zaopatrzenia ludności w wodę do picia. Może to być spowodowane zarówno czynnikami zewnętrznymi, takimi jak zmniejszenie stopnia rozcieńczenia zanieczyszczeń, zwiększanie spływów powierzchniowych na skutek intensywniejszych opadów, wzrost temperatury wody, jak i wewnętrznymi – zmiany w transporcie i transformacji zanieczyszczeń w środowisku wodnym.

Głównym założeniem przyjętym w pracach dotyczących zmian wybranych wskaźników jakości wód powierzchniowych było to, że czynnikami wywołującym zmienność jakości wód są przewidywane zmiany klimatyczne w zakresie czynników wewnętrznych. Było to równoznaczne z przyjęciem, że wszystkie inne czynniki mogące wpływać na jakość wód były niezmiennie w całym okresie symulacji.

Prognozowanie zmian jakości wody wymaga opisu złożonych zjawisk i procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych zachodzących w środowisku wodnym. Ocena wielkości czasowych i przestrzennych zmian parametrów, charakteryzujących stan jakościowy zasobów wodnych, wymaga najczęściej zastosowania aparatu modelowania matematycznego.

Osiągnięcie głównego celu prac wymagało w pierwszej kolejności określenia wyjściowego kształtowania się wartości poszczególnych parametrów opisujących aktualny stan jakościowy wód badanych odbiorników. Wykonanie obliczeń dotyczących stanu początkowego było konieczne zarówno ze względów merytorycznych, jak i numerycznych. Pozwalały one określić sezonową zmienność wartości poszczególnych parametrów jakościowych i jednocześnie stanowiły podstawę do określenia warunków początkowych obliczeń prognostycznych. Po określeniu stanu wyjściowego jakości wód niezbędne było sporządzenie scenariuszy obliczeń, pozwalających na uwzględnienie przewidywanych zmian klimatycznych.

W projekcie KLIMAT jako podstawę rozważań przyjęto trzy spośród opracowanych przez IPCC scenariuszy rozwojowych: A2, A1B i B1. Ich charakterystykę przedstawiono w cz. I *Zarządzanie zasobami wodnymi w Polsce w świetle zmian klimatu*.

Dla przyjętych scenariuszy wykonano serie obliczeń wariantowych, opisujących zmienność stanu jakościowego wód powierzchniowych w zmienionych warunkach klimatycznych. Stanowiły one (razem z obliczeniami dotyczącymi stanu wyjściowego) podstawę do oceny – czy i w jakim stopniu przewidywane zmiany warunków klimatycznych wpłyną bezpośrednio na zmianę stanu jakościowego wód powierzchniowych.

Na potrzeby realizacji prac wybrano obiekt badawczy – Zalew Zegrzyński. Powstał on w 1962 r. w wyniku wybudowania zapory wraz z elektrownią wodną w dolnym biegu Narwi, w miejscowości Dębe. Jest przepływowym zbiornikiem retencyjnym zasilanym wodami Narwi i Bugu oraz innych małych dopływów.



Rys. 1. Obiekt badawczy – Zalew Zegrzyński

Zalew Zegrzyński ma kształt łukowaty i jest usytuowany między naturalnym, wysokim prawym brzegiem Narwi i lewobrzeżnym sztucznym obwałowaniem. Górną część zbiornika tworzą odcinki koryt rzecznych: Narwi – od Pułtuska do ujścia Bugu na wysokości Serocka, i Bugu – na odcinku od Popowa do ujścia do Narwi. Część środkowa zbiornika to rozlewisko zegrzyńskie, sięgające od Serocka do mostu drogowego w Zegrzu. Trzecią częścią zbiornika jest koryto Narwi od mostu drogowego w Zegrzu do zapory w Dębem (rys. 1). Zalew Zegrzyński jest wykorzystywany między innymi jako źródło zaopatrzenia w wodę aglomeracji warszawskiej. Woda dla Warszawy jest ujmowana w miejscowości Wieliszew w ilości 47 400 tys. m<sup>3</sup>/rok (wg pozwolenia wodnoprawnego 114 975 tys. m<sup>3</sup>/rok). Jest uzdatniana przez Wodociąg Północny (uruchomiony w 1987 r.) i przesyłana przez przepompownię strefową do północnej części zarówno lewo-, jak i prawobrzeżnej Warszawy.

Do obliczeń symulacyjnych stanu jakościowego Zalewu Zegrzyńskiego wykorzystano model CE-QUAL-W2 [Cole, Wells 2008]. Jest on dwuwymiarowym (podłużnym i pionowym) modelem hydrodynamicznym i jakości wody. Ponieważ w modelu zakłada się poprzeczną jednorodność warunków, jego zastosowanie daje najlepsze wyniki w przypadku stosunkowo długich i wąskich akwenów, wykazujących podłużne i pionowe gradienty jakości wody. Model może być stosowany dla rzek, jezior, zbiorników zaporowych, estuariów oraz dowolnej kombinacji tych obiektów. Umożliwia prognozowanie położenia zwierciadła wody, prędkości przepływu oraz temperatury. Jest ona uwzględniana w obliczeniach hydrodynamicznych z uwagi na niemożliwy do pominięcia wpływ na gęstość wody. Model może być stosowany do wybranych części rzek, jezior, zbiorników zaporowych, estuariów przez zastosowanie warunków brzegowych strumienia dolnego i górnego. Algorytm sieciowy wykorzystywany w modelu umożliwia jego zastosowanie dla warunków złożonych geometrycznie obiektów wodnych. Zmienna długość segmentów i miąższość warstw, możliwa do zastosowania w modelu, pozwala na uzyskanie, w miarę potrzeb, większej szczegółowości wyników. Zwiększenie przepływu i ładunków zanieczyszczeń następuje w modelu na skutek zrzutów zanieczyszczeń punktowych i rozproszonych oraz dopływów. Odpływy z modelowanego systemu są określane dla segmentu strumienia dolnego lub jako straty boczne. Mimo że parowanie nie jest traktowane w sposób jawny jako odpływ, to może być ono uwzględniane w bilansie wodnym. Model umożliwia wzięcie pod uwagę w obliczeniach początku zjawisk lodowych oraz zjawisk narastania i topnienia pokrywy lodowej. Podstawowe równania są uśredniane poprzecznie i warstwowo. Poprzeczne uśrednienie jest równoznaczne z przyjęciem założenia, że poprzeczna zmienność prędkości, temperatury i składowych jakości wody jest pomijana. Szczegółowy opis podstaw teoretycznych modelu wraz z przykładem zastosowania przedstawiono w pracy *Dwuwymiarowy model...*[Ślesicki, Gromiec 2008].

W celu implementacji modelu matematycznego dla warunków obiektu rzeczowego, należało wykonać sekwencję czynności, pozwalających na dostosowanie opisu obiektu do wymagań stawianych przez model. Podstawową czynnością była dyskretyzacja modelowanego obiektu. Należało również ustalić typy warun-

ków początkowych i brzegowych, a także rodzaj i zakres danych wejściowych i parametrów niezbędnych do uruchomienia modelu.

Na potrzeby obliczeń symulacyjnych, prowadzonych dla Zalewu Zegrzyńskiego, dokonano podziału tego obiektu na trzy odcinki obliczeniowe (rys. 1):

- Narew – od Pułtuska do mostu w Wierzbicy;
- Bug – od Popowa do połączenia ze zbiornikiem;
- Zbiornik – od mostu w Wierzbicy do zapory Dębe.

W obliczeniach przyjęto domyślne wartości współczynników hydraulicznych oraz absorpcji i osłabienia natężenia światła słonecznego w wyniku pochłaniania w atmosferze. Poddano symulacji warunki jakościowe charakteryzowane następującym zestawem parametrów: temperatura, fosforany, fosfor całkowity, azot amonowy, azotany i azotyny, azot całkowity, BZT, tlen rozpuszczony, glony jako chlorofil „a”.

Dane opisujące charakterystykę batymetryczną obiektów były podstawą do utworzenia siatki obliczeniowej modelu. Batymetrię Zalewu Zegrzyńskiego określono w oparciu na mapach topograficznych i przekrojach poprzecznych, które posłużyły do opracowania, za pomocą programu SURFER, mapy cyfrowej Zalewu, umożliwiającej dyskretyzację obiektu zgodnie z wymaganiami modelu. W jej ramach dokonano podziału odcinków obliczeniowych na 134 segmenty i 25 warstw obliczeniowych o miąższości 50 cm.

W celu uruchomienia modelu dla warunków istniejącego obiektu, niezbędne było określenie warunków brzegowych. Dla Zalewu Zegrzyńskiego wykorzystano trzy rodzaje warunków: dopływu, wysokości i powierzchni.

W omawianym zadaniu występowały dwa dopływy strumienia górnego (Narew i Bug) oraz dwa punktowe dopływy boczne (Rządza i Kanał Żerański). Do utworzenia plików wejściowych dopływów wykorzystano dane wodowskazowe (wodowskazy – Zambski Kościelne na Narwi, Wyszków na Bugu, Struga na Czarnej, dopływie Kanału Żerańskiego, oraz Kłębów na Cienkiej – dopływie Rządzy), ciągłe pomiary temperatury dokonywane przez eksperymentalne automatyczne stacje pomiarowe jakości wody w profilach Pułtusk i Popowo oraz wyniki pomiarów jakości wody prowadzonych w punktach kontrolno-pomiarowych.

Określono również zewnętrzny warunek brzegowy wysokości dla elementów strumienia dolnego odcinka *Zbiornik*. Warunek ten opisywany był przez zmienne w czasie rzędne piętrzenia na zaporze Dębe oraz wartości temperatury odpływu.

Określenie warunków brzegowych powierzchni wymagało utworzenia pliku danych meteorologicznych zawierającego: długość i szerokość geograficzną, temperaturę powietrza, temperaturą punktu rosy, prędkość i kierunek wiatru, zachmurzenie. Do tego celu wykorzystano dane ze stacji meteorologicznej w Legionowie.

Kalibracja modelu przeprowadzona była na podstawie dostępnych wyników pomiarów prowadzonych wewnątrz modelowanego obiektu w okresie symulacji stanu początkowego. Podstawowym źródłem danych do przeprowadzenia kalibracji były wyniki pomiarów prowadzonych w punktach kontrolno-pomiarowych (Wierzbica, Białobrzegi, Zegrze i Dębe).



Zgodnie z zasadami opisanymi wcześniej, sformułowano 9 odrębnych zadań obliczeniowych (dla trzech odcinków obliczeniowych w trzech scenariuszach). Pliki danych w zadaniach dotyczących poszczególnych scenariuszy różniły się jedynie wartościami parametrów meteorologicznych. Obliczenia obejmowały okres symulacji wynoszący 21 lat (20 letni okres prognozy + rok wyjściowy) i były wykonywane z dobowym krokiem czasowym.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano ciągi wartości symulowanych parametrów jakości wody. Wyprowadzane były one z dokładnością podziału dyskretyzacji obiektów (3350 elementów obliczeniowych).

W celu przeprowadzenia efektywnej analizy zmienności stanu jakościowego wód obiektu badawczego, na skutek przewidywanych zmian klimatycznych, konieczne było dokonanie przestrzennej agregacji wyników w dłuższych przedziałach czasowych i określenie miar porównawczych. Analiza stwierdzonej w obliczeniach cyklicznej zmienności wskaźników jakości wody, w ciągu kolejnych lat okresu obliczeniowego, pozwoliła na określenie optymalnej wielkości przedziału agregacji. Dokonano agregacji wyników dla poszczególnych odcinków obliczeniowych w przedziałach miesięcznych. Jako miarę porównawczą wybrano średnią wartość miesięczną ze stężeń poszczególnych badanych parametrów jakości wody, pozwalającą na ocenę długofalowych zmian ich wielkości dla każdego z rozpatrywanych odcinków obliczeniowych i – scenariuszy.

Obliczone wielkości średnich miesięcznych wartości poszczególnych wskaźników jakości wody w kolejnych latach okresu obliczeniowego były podstawą do wyznaczenia linii trendów ich zmienności. Do analizy trendu wykorzystano zależność liniową, która najlepiej opisuje przebieg zjawiska. W celu zapewnienia porównywalności wyników, jako miarę przyjęto wartości względnych miesięcznych przyrostów funkcji trendu zmienności, określanych z zależności:

$$\frac{f_{20} - f_0}{f_0} \times 100\%$$

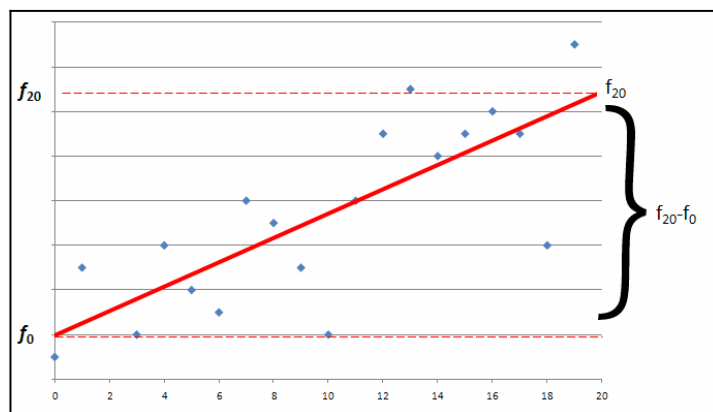
gdzie:

$f_{20}$  – wartość funkcji linii trendu dla ostatniego roku symulacji  
 $f_0$  – wartość funkcji linii trendu dla roku wyjściowego

Wartość względnego przyrostu funkcji trendu zmienności opisuje zmianę wielkości średnich miesięcznych stężeń rozpatrywanych wskaźników jakości wody w całym okresie obliczeniowym w stosunku do wartości początkowej (w roku wyjściowym), wyrażoną w procentach. Sposób wyznaczania wartości względnego przyrostu funkcji trendu zmienności przedstawiono na rys. 2.

W przypadku analizy zmian wartości temperatury wody oraz rozpatrywanych strumieni kinetycznych, jako miarę porównawczą przyjęto wartości bezwzględnych miesięcznych przyrostów funkcji trendu zmienności, określanych z zależności  $f_{20}-f_0$ . Przyjęcie takiej miary było podyktowane występowaniem wartości

ujemnych rozpatrywanego wskaźnika, co powodowało znaczące zakłócenia w procesie obliczeniowym.



Rys. 2. Sposób wyznaczania względnych przyrostów funkcji trendu zmienności. Oś rzędnych przedstawia wartość danego wskaźnika, a oś odciętych – rok symulacji

Oprócz obliczonej dynamiki zmian wartości poszczególnych parametrów jakości wód Zalewu Zegrzyńskiego, określone zostały również przebiegi strumieni kinetycznych wybranych wielkości.

Strumienie kinetyczne opisują w sposób ilościowy wybrane procesy zachodzące w środowisku wodnym. Przedstawiają zmiany (przyrost lub zmniejszenie) ilości określonych substancji w modelowanych odcinkach. Wyznaczenie przebiegu strumieni kinetycznych pozwoliło na bardziej szczegółową analizę zjawisk zachodzących w środowisku wodnym i wyodrębnienie procesów mających największy wpływ na zmiany jakościowe, zachodzące pod wpływem zmian warunków klimatycznych.

Analizę wpływu zmian warunków klimatycznych na zmiany jakości wody pobieranej do zaopatrzenia miast przeprowadzono na przykładzie ujęcia w Wieliszewie na Zalewie Zegrzyńskim. Stan jakościowy wód został scharakteryzowany za pomocą następujących parametrów: temperatura wody, % tlenu rozpuszczonego, BZT<sub>5</sub>, glony jako chlorofil „a”, azotany, amoniak i fosforany. W celu określenia wielkości zmian wybranych wskaźników przeprowadzono analizę przyrostów funkcji linii trendów w rozbiciu na poszczególne miesiące. Dla każdego z badanych wskaźników wyliczono bezwzględne i względne przyrosty funkcji trendu oraz wartość początkową funkcji linii trendu  $f_0$  (wartość dla roku wyjściowego), które są wartościami referencyjnymi.

Analizę przyrostów funkcji linii trendów dla rozpatrywanych wskaźników, oprócz chlorofilu *a*, przeprowadzono w zestawieniu z wartościami granicznymi. Stanowiły one progi, dzięki którym było możliwe określenie ewentualnych zagrożeń dla jakości wody pobieranej na ujęciu. Wartości graniczne przyjęto w oparciu

na rozporządzeniu Ministra Środowiska dotyczącym kategorii wody przeznaczonej do picia [Rozporządzenie... 2002].

W przypadku chlorofilu *a* wartości graniczne pochodzą z załącznika 1 do rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych [Rozporządzenie... 2008].

Dla chlorofilu *a* przeprowadzono dodatkowo analizę zmienności częstości występowania dni z danej klasy czystości wody. Wartość dobową stężenia chlorofilu *a* obliczona dla danego dnia została przyporządkowana określonej w powyższym rozporządzeniu klasie czystości wody. Dane pogrupowano w ujęciu zarówno miesięcznym (w celu analizy wpływu scenariuszy klimatycznych w poszczególnych sezonach roku dla całego badanego wielolecia), jak i w ujęciu rocznym (w celu wyznaczenia i zbadania trendów zmian liczby wystąpień dni w danej klasie na przestrzeni całego badanego wielolecia). Pogrupowanie danych w ujęciu miesięcznym polegało na zliczeniu dni ze wszystkich styczni, lutych, marców itd. i utworzeniu z nich pojedynczych przedziałów. W ten sposób np. przedział *styczeń* oznacza wartości ze wszystkich styczni w badanym wieloleciu. Natomiast pogrupowanie danych w ujęciu rocznym polegało na rozbiciu wyników symulacji na poszczególne lata badanego okresu.

Jako podstawę dla prac, których celem było przedstawienie koncepcji systemu wczesnego ostrzegania ujęcia wody przed nadzwyczajnymi zagrożeniami i potrzeby udoskonalania systemów monitorowania i ostrzegania, przyjęto założenie, że taką koncepcję można stworzyć jedynie przez traktowanie jej jako części składowej całego systemu monitoringu środowiska i zarządzania dla danej zlewni rzecznej. Wiedza na temat problemów występujących w zlewni jest konieczna, aby móc zmierzyć się z potencjalnymi zagrożeniami. Przeanalizowano więc niezbędną strukturę monitoringu środowiska. Przyjęto też, że niezbędnymi podsystemami systemu wczesnego ostrzegania są: system pomiarowy, przechowywania i transmisji danych, przetwarzania i wizualizacji danych oraz system mechanizmów i procedur związanych z funkcjonowaniem systemu ostrzegania.

Założono również, że jego koncepcja zostanie sformułowana ogólnie, aby można ją było przystosować do różnych warunków lokalizacji systemu, sieci stacji pomiarowych oraz do instytucji i użytkowników wody zainteresowanych wczesnym ostrzeganiem i posiadających różne wymagania co do informacji dostarczanej przez system.

Przeanalizowano stosowane w pilotowych systemach ostrzegania automatyczne pomiary jakości wody i możliwości udoskonalania systemów pomiarowych do pozyskiwania stałej informacji o jakości wody w zakresie fizyczno-chemicznym i biologicznym w celu zabezpieczenia układu technologicznego stacji uzdatniania przed niekontrolowaną zmianą i uzyskania danych do przystosowania układu technologicznego do zmian jakości ujmowanej wody.

# **Wpływ zmian klimatycznych na wybrane wskaźniki jakości wód powierzchniowych**

*Marek Ślesicki*

## **1. Wpływ zmian klimatycznych na wybrane elementy bilansu cieplnego**

Temperatura wód powierzchniowych, podobnie jak zapach, mętność, smak, przezroczystość i barwa, należy do fizycznych wskaźników jakości wody. Zależy głównie od pochodzenia wody, strefy klimatycznej występowania, pory roku, a także zrzucanych do niej ścieków. Temperatura wody ma duży wpływ na życie biocenozy oraz przebieg procesów fizycznych, biologicznych i chemicznych. Większość zwierząt wodnych toleruje zmiany temperatury w granicach od 4 do 32°C. Wzrost do 35°C jest zagrożeniem dla życia ryb [Hermanowicz 1984].

Temperatura wody stanowi podstawową wielkość łączącą zmiany klimatyczne z przebiegiem reakcji i zjawisk zachodzących w środowisku wodnym. Zmiany warunków meteorologicznych mają bezpośredni wpływ przede wszystkim na kształtowanie się warunków termicznych w akwenach, a te z kolei implikują zmiany w przebiegu zjawisk i procesach w nich zachodzących. Wzrost temperatury powoduje zmniejszenie ilości tlenu rozpuszczonego, zwiększenie biochemicznego zapotrzebowania tlenu (BZT), przyspieszenie procesu nitryfikacji oraz utleniania amoniaku, co może prowadzić do występowania w wodzie deficytów tlenowych. Podwyższenie temperatury wywołuje przyspieszenie reakcji chemicznych i biologicznych zachodzących w wodzie. Może również zwiększyć toksyczność wielu substancji. Zmiany w przebiegu zjawisk znajdują odbicie w wielkościach parametrów, opisujących stan jakościowy i przydatność do wykorzystania gospodarczego.

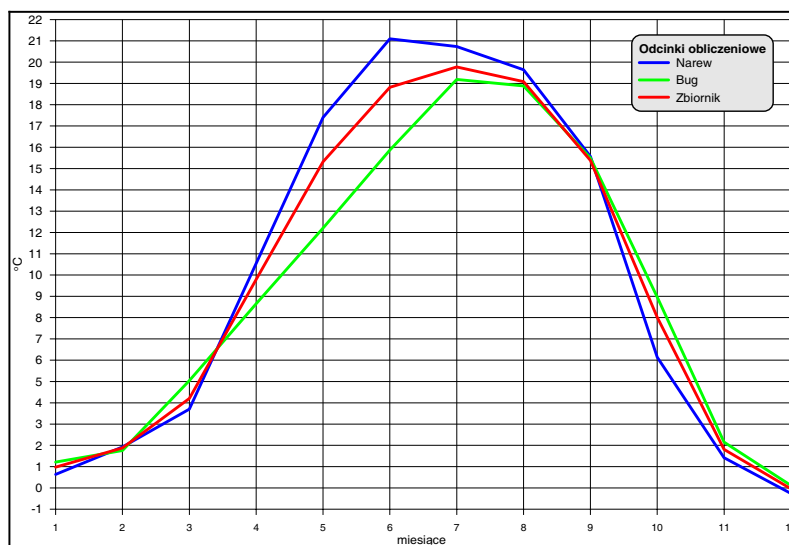
Obliczona zmienność temperatury wody to wynik bilansu cieplnego przeprowadzonego dla każdego z odcinków obliczeniowych. W obliczeniach bilansu uwzględniono: powierzchniową wymianę ciepła między atmosferą a tonią wodną, straty ciepła związane z parowaniem (zależne od prędkości i kierunku wiatru oraz wilgotności względnej), wymianę ciepła z osadami oraz zjawiska lodowe.

Przebieg zmienności obliczonych średnich miesięcznych wartości temperatury wody dla stanu początkowego przedstawiono na rys. 1. Obliczony przebieg miał charakter zgodny z teoretyczną roczną zmiennością temperatury. Przebiegi zmien-

ności miały zbliżony charakter na wszystkich rozpatrywanych odcinkach obliczeniowych. Na poszczególnych z nich, w okresie zimnym, występowało mniejsze zróżnicowanie temperatur niż w okresie ciepłym. W Zalewie Zegrzyńskim temperatura na odcinku *Bug* przyjmowała najniższe wartości, a na odcinku *Narew* – najwyższe. To zróżnicowanie najbardziej zaznaczyło się w maju i czerwcu.

Zgodnie z założeniami, w przypadku analizy zmian temperatury wody, jako miarę porównawczą przyjęto wartości bezwzględnych miesięcznych przyrostów funkcji trendu zmienności. W tab. 1. zestawiono średnie wielkości przyrostów funkcji trendów z 12 miesięcy, charakteryzujące generalne kierunki i wielkości zmian temperatury wody zachodzące w analizowanym okresie, dla odcinków i scenariuszy.

Dane zamieszczone w tab. 1 wskazują, że obliczona generalna zmienność temperatury wody dla wszystkich odcinków obliczeniowych i scenariuszy była niewielka. W przypadku scenariusza A2 zmieniała się od  $-0,02^{\circ}\text{C}$  (dla odcinka *Bug*) do  $0,04^{\circ}\text{C}$  (dla odcinka *Zbiornik*), scenariusza A1B w przedziale od  $0,03^{\circ}\text{C}$  (dla odcinka *Bug*) do  $0,23^{\circ}\text{C}$  (dla odcinka *Zbiornik*), a w przypadku scenariusza B1 w przedziale od  $-0,17^{\circ}\text{C}$  (dla odcinka *Zbiornik*) do  $-0,04^{\circ}\text{C}$  (dla odcinka *Bug*).



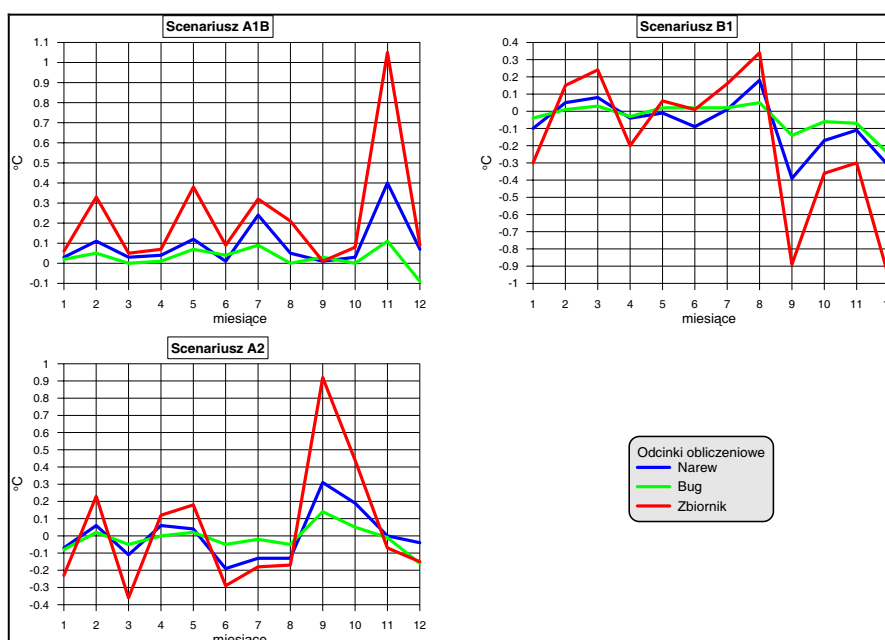
Rys. 1. Zmienność średniej temperatury wody w roku początkowym

Analiza kierunków zmian temperatury wody w analizowanym okresie wykazała, że w przypadku scenariusza umiarkowanego A1B przyrosty były dla wszystkich odcinków dodatnie (wzrost temperatury), w przypadku scenariusza najbardziej proekologicznego B1 – ujemne (spadek temperatury) i wreszcie w przypadku scenariusza najbardziej niekorzystnego A2 – nie można było określić jednolitego kierunku zmian, który był różny na rozpatrywanych odcinkach (na odcinku *Zbiornik* – dodatni, na odcinku *Narew* – zerowy, a na odcinku *Bug* – ujemny).

Tab. 1. Przyrosty funkcji trendów temperatury wody dla odcinków obliczeniowych i scenariuszy (°C)

Odcinki obliczeniowe	Scenariusze rozwojowe		
	A2	A1B	B1
Narew	0,00	0,09	-0,08
Bug	-0,02	0,03	-0,04
Zbiornik	0,04	0,23	-0,17

Na rys. 2. przedstawiono przebieg zmienności miesięcznych przyrostów linii trendu temperatury wody w analizowanym okresie, obliczonej dla warunków wszystkich rozpatrywanych scenariuszy, we wszystkich odcinkach obliczeniowych.



Rys. 2. Przyrosty funkcji linii trendów zmienności temperatury wody

Dla warunków scenariusza A1B wartości tych przyrostów zmieniały się w przedziale od  $-0,09^{\circ}\text{C}$  (odcinek *Bug* – grudzień) do  $1,05^{\circ}\text{C}$  (odcinek *Zbiornik* – listopad). Największe wartości przyrostu temperatury były obserwowane we wszystkich obiektach w miesiącach najzimniejszych (styczeń, luty, listopad i grudzień), co może wskazywać na występowanie tendencji wyrównywania temperatur między okresami zimy i lata. Niewielkie wartości zmian temperatury nie pozwoliły jednak na potwierdzenie występowania takiej tendencji z wystarczającą pewnością. Ogólnie w tym scenariuszu zaobserwowano tendencję wzrostową temperatury wody.

Dla warunków scenariusza A2 wartości tych przyrostów zmieniały się w przedziale od  $-0,36^{\circ}\text{C}$  (odcinek *Zbiornik* – marzec) do  $0,92^{\circ}\text{C}$  (odcinek *Zbiornik* – wrzesień). Ogólnie zaobserwowano słabą tendencję spadkową temperatury wody.

Dla warunków scenariusza B1 wartości przyrostów zmieniały się w przedziale od  $-0,97^{\circ}\text{C}$  (odcinek *Zbiornik* – grudzień) do  $0,34^{\circ}\text{C}$  (odcinek *Zbiornik* – sierpień). Wystąpiła największa, spośród rozpatrywanych, nieregularność przebiegów zmienności miesięcznych przyrostów linii trendów temperatury wody. Ogólnie w tym scenariuszu zaobserwowano tendencję spadkową temperatury wody, jednak wyraźniejszą niż w przypadku scenariusza A2.

Reasumując można stwierdzić, że przeprowadzone obliczenia nie wykazały istotnego wpływu przewidywanych zmian klimatycznych na zmienność temperatury wód w rozpatrywanych obiektach badawczych. Obliczona zmienność miała zróżnicowany charakter dla poszczególnych scenariuszy. W przypadku scenariusza A1B wystąpiła ogólna tendencja wzrostu temperatury, natomiast w przypadku pozostałych widoczne były tendencje spadkowe o różnym stopniu nasilenia (silniejsza dla scenariusza B1, słabsza dla scenariusza A2). Niezależnie od rozpatrywanego scenariusza – odcinek *Zbiornik* charakteryzował się największą amplitudą zmian.

## **2. Wpływ zmian klimatycznych na przebieg cyklu rozwojowego glonów**

Biocenoza to zespół populacji organizmów roślinnych i zwierzęcych danego środowiska, należących do różnych gatunków, ale powiązanych ze sobą różnorodnymi czynnikami ekologicznymi i zależnościami pokarmowymi, która tworzy całość pozostającą w stanie dynamicznej równowagi.

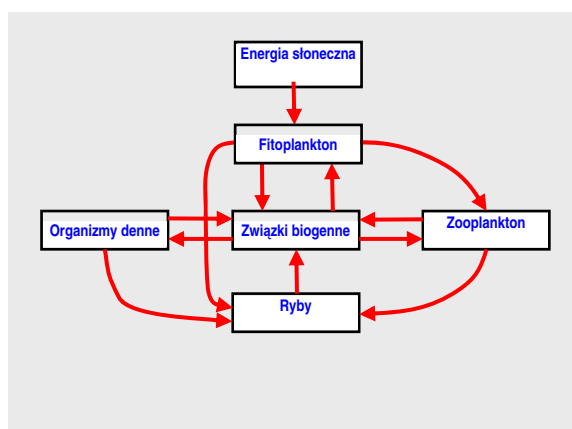
Zbiorniki wodne są zasiedlane przez charakterystyczne dla nich biocenozy. Jednym z podstawowych zespołów biocenoz wodnych jest plankton. Rozwijają się w strefie pelagicznej, bez związku z podłożem. Plankton dzieli się na fitoplankton (plankton roślinny) i zooplankton (plankton zwierzęcy). Przedstawicielami planktonu roślinnego są glony, a w szczególności sinice, okrzemki i zielenice, natomiast plankton zwierzęcy to: wiciowce, orzęski oraz niektóre organizmy wyższe, takie jak wrotki i skorupiaki [Pawlaczyk-Szpilowa 1970].

Utrzymanie w równowadze biocenozy danego środowiska zależy od jego właściwości, na które składają się poszczególne czynniki ekologiczne. Ilości poszczególnych substancji mających wpływ na biocenozę mogą być czynnikami ograniczającymi jej rozwój. Określenie zmienności tych czynników pozwala na ocenę dynamiki biocenozy.

W modelach ekologicznych [Jorgensen 1983] przyjmuje się, że podstawowym czynnikiem kształtującym pozostałe składowe biocenozy jest fitoplankton. Wzrost fitoplanktonu jest uzależniony od temperatury, dostępności związków organicznych i biogennych oraz dodatkowo od światła słonecznego. W jeziorach i sztucznych zbiornikach dominantami w fitoplanktonie są organizmy fotosyntetyzujące,

dlatego też populacja fitoplanktonu ma tendencje do koncentrowania się przy powierzchni. Schemat koncepcyjnego modelu systemu ekologicznego przedstawiono na rys. 3.

Przyjęcie założenia, że podstawowym czynnikiem kształtującym pozostałe składowe biocenozy jest fitoplankton, umożliwia sprowadzenie badań nad wpływem zmian warunków klimatycznych na dynamikę biocenozy do badań nad kształtowaniem się wielkości czynników limitujących rozwój glonów pod wpływem zmian warunków klimatycznych.



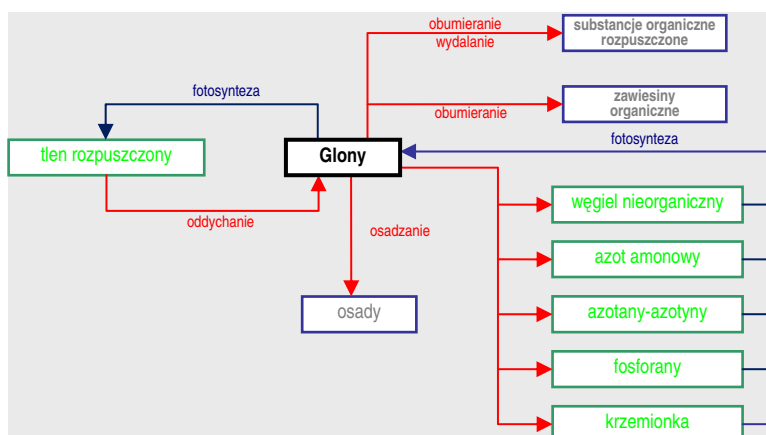
Rys. 3. Schemat modelu systemu ekologicznego [Adamski 2002]

Przeprowadzona analiza zmienności czynników pozwalających na określenie zmienności stężenia fitoplanktonu, następującej pod wpływem zmian warunków klimatycznych dotyczyła, poza wcześniej omówioną temperaturą, stężenia chlorofilu *a* (jako wskaźnika podstawowego) oraz stężeń różnych form azotu i fosforu. Oprócz analizy zmienności stężeń rozpatrzono również zmienność wybranych strumieni kinetycznych, opisujących ilościowy wpływ wybranych procesów zachodzących w środowisku wodnym na kształtowanie się wartości poszczególnych parametrów jakości wody.

Na rys. 4 przedstawiono schemat strumieni masy dla glonów w zakresie uwzględnianym w obliczeniach modelowych, opisujący procesy i parametry jakości wód związane z rozwojem glonów.

W obliczeniach, jako miary zawartości glonów oraz przebiegu zmienności natężenia ich procesów życiowych, przyjęto stężenie chlorofilu *a* (jako wskaźnik podstawowy) oraz strumienie kinetyczne opisujące przebieg procesów: fotosyntezy, respiracji glonów oraz ich wzrostu ilościowego. Strumienie kinetyczne pozwalają na pośredni opis przebiegu cyklu rozwojowego glonów przez obliczenie zmienności tych parametrów jakości wody, na które mają bezpośredni wpływ. W przypadku obliczeń prowadzonych dla warunków Zalewu Zegrzyńskiego były to stężenia: tlenu rozpuszczonego, azotu amonowego, azotanów i azotynów oraz fosforanów.

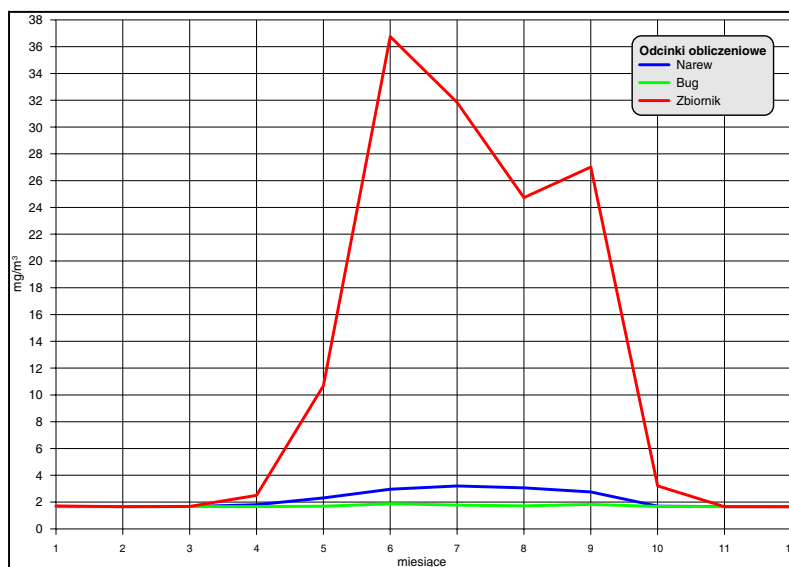




Rys. 4. Schemat wewnętrznych strumieni masy dla glonów [Ślesicki, Gromiec 2008]

### Stężenie chlorofilu *a*

Podstawowym wskaźnikiem opisującym zawartość glonów w wodzie jest stężenie chlorofilu *a*. Chlorofile to grupa organicznych związków chemicznych, występujących między innymi w roślinach, algach i bakteriach fotosyntezujących. Zawartość chlorofilu jest wskaźnikiem zawartości biomasy (fitoplanktonu) w wodzie i intensywności fotosyntezy. Stężenie chlorofilu jest proporcjonalne do zawartości biomasy i wynosi zwykle 0,5–1% jej suchej masy [Dojlido 1987].



Rys. 5. Zmienność średniego miesięcznego stężenia chlorofilu *a* w roku początkowym na analizowanych odcinkach obliczeniowych

Przebieg zmienności obliczonych średnich miesięcznych stężeń chlorofilu *a* w wodzie dla stanu początkowego przedstawiono na rys. 5. Największymi stęże-

niami tego wskaźnika stanu jakościowego wód charakteryzował się odcinek *Zbiornik*. Na tym odcinku obliczone średnie stężenie chlorofilu *a* osiągnęło maksymalną wartość 36,7 µg/m<sup>3</sup> w czerwcu.

Obliczona ogólna zmienność stężeń chlorofilu *a* w przypadku scenariusza A1B zmieniała się od 0,17% (dla odcinka *Bug*) do 1,39% (dla odcinka *Zbiornik*), dla scenariusza A2 w przedziale od 0,19% (dla odcinka *Bug*) do 0,93% (dla odcinka *Zbiornik*), a w przypadku scenariusza B1 w przedziale od 0,18% (dla odcinka *Bug*) do 3,43% (dla odcinka *Zbiornik*). Średnie przyrosty funkcji trendu we wszystkich scenariuszach przyjmowały największe wartości dla odcinka *Zbiornik*. Analiza kierunków zmian stężeń chlorofilu *a* w analizowanym okresie wykazała, że we wszystkich rozpatrywanych odcinkach, dla wszystkich scenariuszy, występowała ogólna tendencja spadkowa stężeń tego wskaźnika.

Zgodnie z przyjętymi założeniami, w przypadku analizy zmian stężeń chlorofilu *a*, jako miarę porównawczą przyjęto wartości względnych miesięcznych przyrostów funkcji trendu zmienności. W tab. 2. zestawiono średnie wielkości przyrostów funkcji trendów z 12 miesięcy, charakteryzujące główne kierunki i wielkości zmian temperatury wody, zachodzące w analizowanym okresie, dla odcinków i scenariuszy.

Tab. 2. Przyrosty funkcji trendów stężeń chlorofilu *a* dla odcinków obliczeniowych i scenariuszy (%)

Odcinki obliczeniowe	Scenariusze rozwojowe		
	A2	A1B	B1
Narew	-0,66	-0,43	-0,66
Bug	-0,19	-0,17	-0,18
Zbiornik	-0,93	-1,39	-3,43

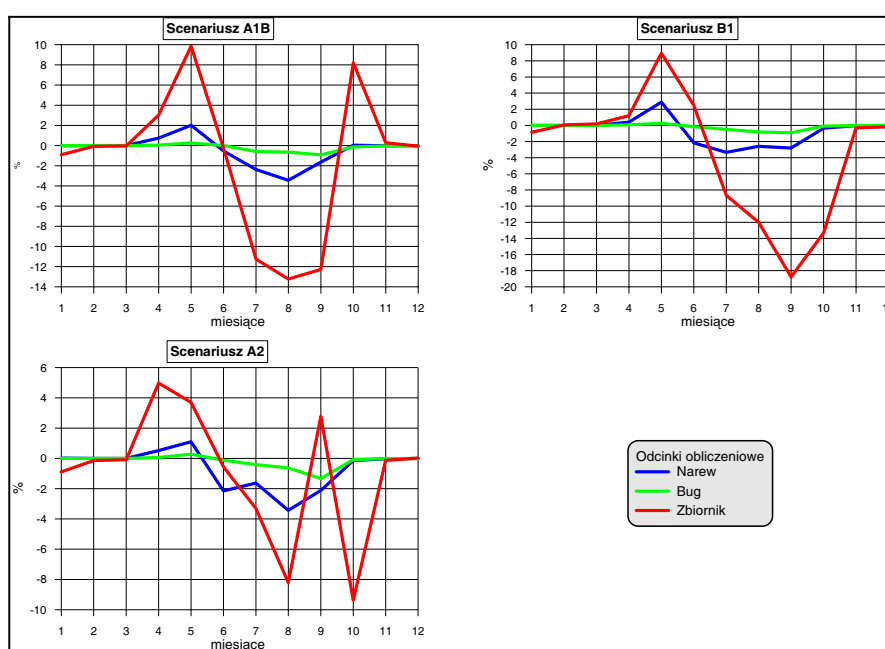
Na rys. 6 przedstawiono przebieg zmienności względnych przyrostów linii trendu stężeń chlorofilu „a” w analizowanym okresie obliczonej dla warunków poszczególnych scenariuszy rozwojowych we wszystkich rozpatrywanych odcinkach obliczeniowych.

W przypadku scenariusza A1B wartości tych przyrostów zmieniały się w przedziale od 0% (odcinki *Bug* i *Narew* do 13,23% (odcinek *Zbiornik* – sierpień). Dało się zauważyć zróżnicowanie przebiegu zmienności analizowanego parametru jakości wody w zależności od odcinka obliczeniowego.

Dla odcinka *Bug* wyniki wskazywały, że nie można stwierdzić występowania istotnych tendencji wpływu przewidywanych zmian klimatycznych na stężenie chlorofilu *a*. Zmienność wartości względnych przyrostów funkcji trendu dla tego odcinka zawierała się w przedziale od 0 do 0,92%. Zwracał przy tym uwagę względnie wyrównany przebieg zmienności dla wszystkich miesięcy.

Odmiennej charakter miały zmiany stężeń chlorofilu *a* dla odcinków *Narew* i *Zbiornik*. W tym przypadku zmienność wartości względnych przyrostów funkcji trendu w tym przypadku zawierała się w przedziale od 0 do 13,23%. Dla obu od-

czeków przebieg zmienności rozpatrywanego parametru miał charakter analogiczny, z tym że dla odcinka *Zbiornik* charakteryzował się zdecydowanie większym zróżnicowaniem wartości. Można było wyróżnić dwa zasadnicze przedziały tej zmienności: przedział wartości bliskich zeru (styczeń – marzec i listopad – grudzień) oraz przedział zmian (kwiecień – październik). Biorąc pod uwagę rozkład stężeń chlorofilu *a* w roku wyjściowym (rys. 5), można było stwierdzić występowanie zjawiska polegającego na wydłużeniu okresu rozwoju glonów o dwa miesiące (kwiecień i październik), przy równoczesnym spłaszczeniu rozkładu tych stężeń w całym okresie wegetacji (kwiecień – październik).



Rys. 6. Przyrosty funkcji linii trendów zmienności stężenia chlorofilu *a*

Dla warunków scenariusza A2, odmiennie od scenariusza A1B, w rozpatrywanym przypadku nie można było wyodrębnić okresów charakterystycznych zmian w przebiegu zmienności przyrostów linii trendu. Największe wahania wartości względnych przyrostów linii trendu występowały dla odcinka *Zbiornik*. Również w przypadku tego scenariusza zaobserwowano wydłużenie okresu rozwoju glonów o dwa miesiące (kwiecień i październik).

W przypadku scenariusza B1 wartości tych przyrostów zmieniały się w przedziale od 0 do 12% (odcinek *Zbiornik* – sierpień). Również w przypadku tego scenariusza dało się zauważyć zróżnicowanie przebiegu zmienności wartości analizowanego parametru jakości wody w zależności od odcinka obliczeniowego.

Dla odcinka *Bug* wyniki wskazywały, że nie można stwierdzić istnienia wyraźnego wpływu przewidywanych zmian klimatycznych na stężenie chlorofilu *a*.

Zmienność wartości względnych przyrostów funkcji trendu dla tego odcinka zawierała się w przedziale od 0 do 0,81%.

Dla odcinka *Narew* przebieg zmienności względnych przyrostów funkcji trendu miał charakter zbliżony do opisanego dla warunków scenariusza A1B. Zmienność wartości względnych przyrostów funkcji trendu tego odcinka zawierała się w przedziale od 0 do 2,8%.

Przebieg zmienności stężeń chlorofilu *a* dla odcinka *Zbiornik* miał w tym przypadku charakter pośredni między opisywanym wcześniej dla scenariusza A1B i A2. Zmienność wartości względnych przyrostów funkcji trendu w tym przypadku zawierała się w przedziale od 0,06 do 18,78%. Można było wyróżnić dwa zasadnicze przedziały tej zmienności: przedział wartości bliskich zeru (styczeń – marzec i listopad – grudzień) oraz przedział zmian (kwiecień – październik). Również w tym przypadku zaobserwowano wydłużenie okresu rozwoju glonów o dwa miesiące (kwiecień i październik).

Reasumując, można stwierdzić, że obliczenia wykazały istnienie wpływu przewidywanych zmian klimatycznych na zmienność stężeń chlorofilu *a* w wodach rozpatrywanych obiektów badawczych. Relatywnie największych zmian należy oczekiwać w odcinku *Zbiornik*. Dla pozostałych odcinków będzie on zdecydowanie mniejszy. W omawianym przypadku należy zwrócić uwagę na dwa zasadnicze jak się wydaje zagadnienia, charakteryzujące wpływ przewidywanych zmian klimatycznych na rozwój populacji glonów w wodach rozpatrywanych odcinków obliczeniowych: zmniejszenie ilości glonów w okresie letnim oraz wydłużenie ich okresu rozwojowego. Zmiany zawartości chlorofilu „a” są wynikiem zmian zachodzących w przebiegu szeregu procesów w nich zachodzących. Do najważniejszych należy zaliczyć tu procesy: fotosyntezy, respiracji i wzrostu glonów.

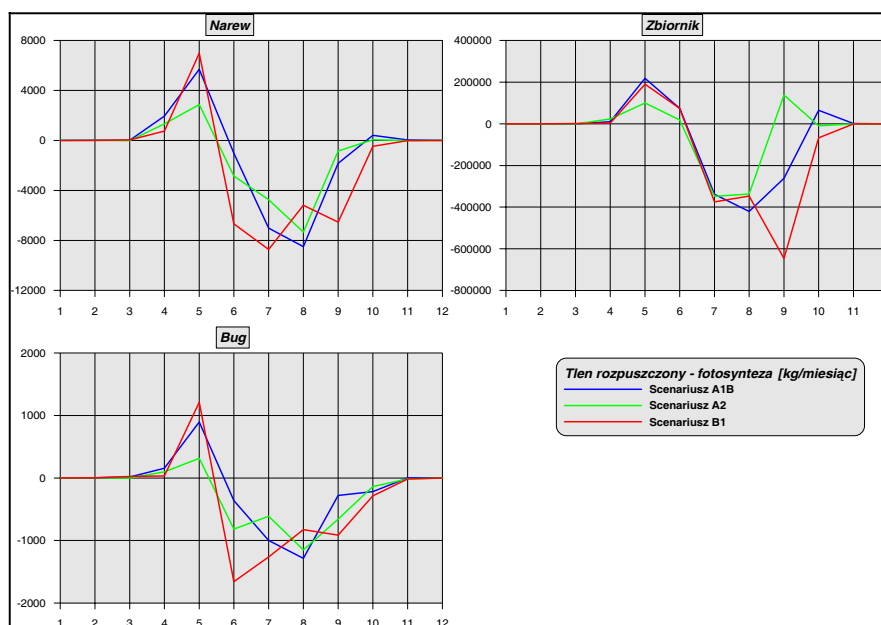
#### Proces fotosyntezy

Procesy fotosyntezy są drugim, poza reaeracją, źródłem tlenu rozpuszczonego w wodzie. Podczas nich rośliny zielone dokonują zamiany energii świetlnej na chemiczną. Jest ona wykorzystywana do syntezy związków organicznych z prostych związków nieorganicznych. Fotosynteza jest procesem endotermicznym, wymagającym dużej ilości energii, którą rośliny pobierają z energii świetlnej. Może zachodzić tylko za pośrednictwem zielonego barwnika (chlorofilu), w związku z czym do tego procesu są zdolne tylko rośliny zielone (fotoautotrofy). W wyniku fotosyntezy wydzielany jest tlen [Dojlido 1987]. Wytwarzanie tlenu zależy od stężenia glonów, głębokości, temperatury, intensywności nasłonecznienia oraz czasu ekspozycji na promienie słoneczne.

Analiza wyjściowego stanu jakościowego wód w rozpatrywanych odcinkach obliczeniowych wykazała, że fotosynteza jest głównym czynnikiem wpływającym na warunki tlenowe w odcinku *Zbiornik* oraz drugim co do ważności – w odcinkach obliczeniowych *Narew* i *Bug*.

Zgodnie z założeniami, w przypadku analizy zmian wielkości strumieni kinetycznych, jako miarę porównawczą przyjęto wartości bezwzględnych miesięcznych przyrostów funkcji trendu zmienności.

Na rys. 7 przedstawiono przebieg zmienności przyrostów linii trendu strumienia „tlen rozpuszczony – fotosynteza” w analizowanym okresie, obliczonych na rozpatrywanych odcinkach obliczeniowych w warunkach analizowanych zmian klimatycznych.



Rys. 7. Przyrosty funkcji linii trendu strumienia kinetycznego „tlen rozpuszczony – fotosynteza”

Na odcinku *Bug* wartości bezwzględnych przyrostów linii trendu zmieniały się w przedziale od 0 kg/miesiąc (w przypadku wszystkich scenariuszy) do 1659 kg/miesiąc (scenariusz B1–czerwiec). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w zbliżony sposób. W okresach styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone wartości przyrostów przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie marzec – maj zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów fotosyntezy) dla wszystkich scenariuszy. Od maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do czerwca), a następnie stopniowy wzrost – do listopada.

W bardzo zbliżony sposób kształtowały się przebiegi zmienności rozpatrywanych wielkości na odcinku *Narew*. W tym przypadku wartości bezwzględnych przyrostów linii trendu zmieniały się w przedziale od 0 kg/miesiąc (wszystkie scenariusze) do 8723 kg/miesiąc (scenariusz B1 – lipiec). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w zbliżony sposób. W okresach styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone wartości przyrostów przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie marzec – maj zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów fotosyntezy)

dla wszystkich scenariuszy. Od maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do lipca, w przypadku pozostałych – do sierpnia), a następnie wzrost do listopada.

Również w przypadku zmian wielkości strumienia kinetycznego „tlen rozpuszczony – fotosynteza” na odcinku *Zbiornik* zaobserwować można było przebieg zmienności zbliżony do opisanych powyżej. Zmienność wartości przyrostów funkcji trendu w tym przypadku zawierała się w przedziale od 4 kg/miesiąc (scenariusz A1B – grudzień) do 646 500 kg/miesiąc (scenariusz B1 – wrzesień). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w zbliżony sposób. W okresach styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone wartości przyrostów przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie marzec – maj zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów fotosyntezy) dla wszystkich scenariuszy. Od maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 do września), a następnie szybki wzrost do wartości zerowej w listopadzie.

Reasumując, można stwierdzić, że obliczenia wykazały ogólną tendencję spadku ilości tlenu dostarczanego w rozpatrywanym okresie do wód odcinków obliczeniowych. Ilościowo tendencja była najwyraźniejsza w przypadku scenariusza B1. Dla warunków wszystkich rozpatrywanych odcinków i scenariuszy obliczone przebiegi zmienności przyrostów linii trendu strumienia kinetycznego „tlen rozpuszczony – fotosynteza” miały analogiczny charakter.

Wytwarzanie tlenu w procesie fotosyntezy jest funkcją między innymi stężenia glonów (mierzonego poziomem chlorofilu w warunkach omawianego zadania). W związku z tym obserwowane spowolnienie procesów fotosyntezy w okresie letnim było ściśle związane z omówionym wcześniej kształtowaniem się zmian stężeń tego wskaźnika.

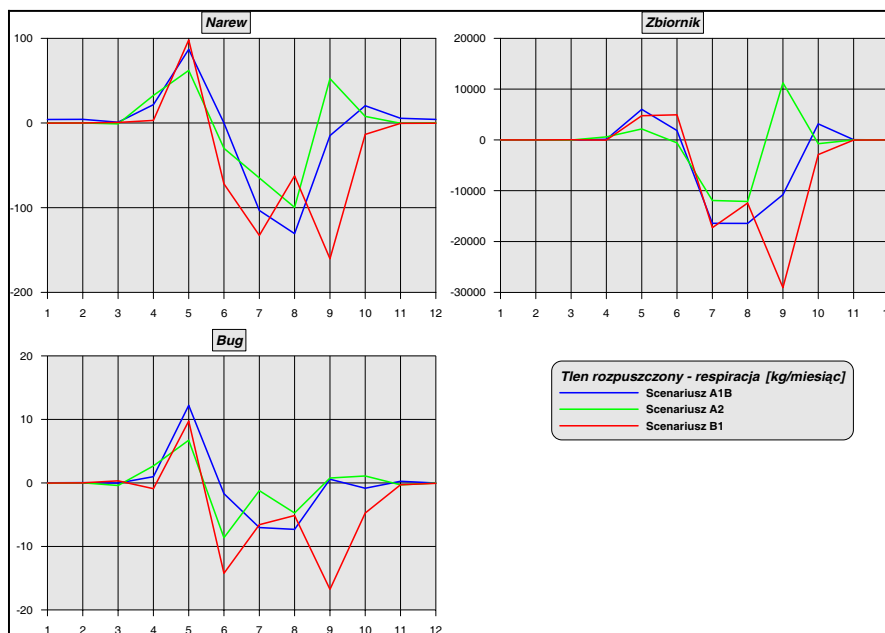
#### Respiracja glonów

W procesie respiracji glonów następuje zużycie tlenu rozpuszczonego, zmniejszające jego zawartość w wodzie oraz uwalnianie azotu amonowego i fosforanów.

W obliczeniach dotyczących zmian czynników kształtujących bilans tlenowy uwzględniono obok fotosyntezy również towarzyszące jej zjawisko oddychania mikroorganizmów (respiracji), zmniejszające ilość tlenu rozpuszczonego. Ilościowo zjawisko to opisane zostało wielkością strumienia kinetycznego „tlen rozpuszczony – respiracja”, którego przebieg wyrażony przyrostami linii trendu dla analizowanego okresu przedstawiono na rys. 8.

Na odcinku *Bug* wartości bezwzględnych przyrostów linii trendu zmieniały się w przedziale od 0 kg/miesiąc (wszystkie scenariusze) do 16,5 kg/miesiąc (scenariusz B1 –wrzesień). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w zbliżony sposób. W okresach styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone wartości przyrostów przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie marzec – maj zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów respiracji) dla wszystkich scenariuszy. Od

maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do września), a następnie stopniowy wzrost – do listopada.



Rys. 8. Przyrosty funkcji linii trendu strumienia kinetycznego „tlen rozpuszczony – respiracja”

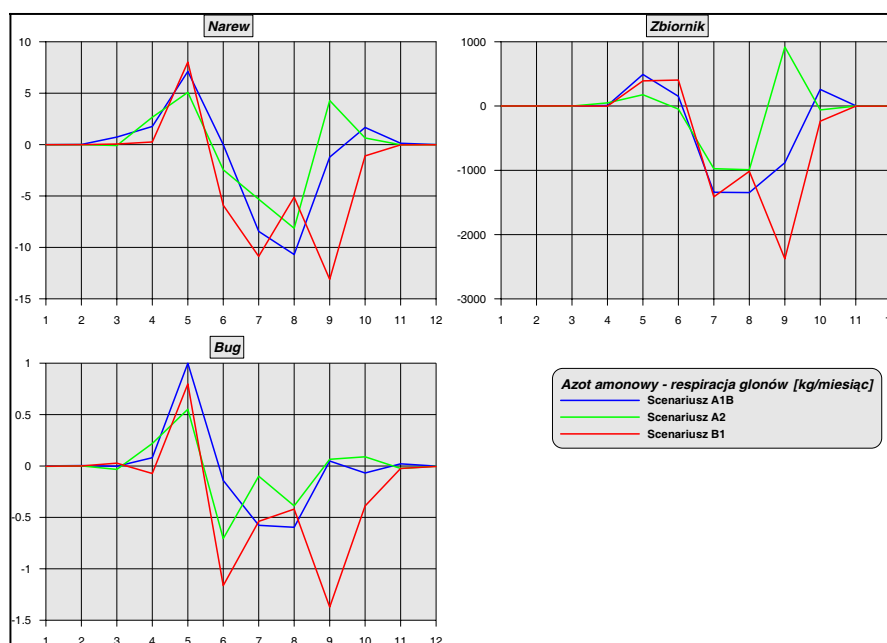
W zbliżony sposób kształtowały się przebiegi zmienności rozpatrywanych wielkości na odcinku *Narew*. W tym przypadku wartości bezwzględnych przyrostów linii trendu zmieniały się w przedziale od 0 kg/miesiąc (scenariusze A2 i B1) do 160,3 kg/miesiąc (scenariusz B1 – lipiec). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w podobny sposób. W okresach styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone wartości przyrostów przyjmowały wartości bliskie zeru. Od marca do maja zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów respiracji) dla wszystkich scenariuszy. Od maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do września), a następnie wzrost – do listopada.

Również w przypadku zmian wielkości strumienia kinetycznego „tlen rozpuszczony – respiracja” na odcinku *Zbiornik* zaobserwowano przebieg zmienności zbliżony do opisanych powyżej. Zmienność wartości przyrostów funkcji trendu w tym przypadku zawierała się w przedziale od 0,1 kg/miesiąc (scenariusz A1B – styczeń) do 29 062 kg/miesiąc (scenariusz B1 – wrzesień). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w podobny sposób. W okresach styczeń – kwiecień i listopad – grudzień obliczone przyrosty przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie kwiecień – maj zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów respiracji) dla

wszystkich scenariuszy. Od maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do września), a następnie powolny wzrost – do listopada.

W obliczeniach dotyczących zmian zawartości azotu amonowego w wodach na rozpatrywanych odcinkach obliczeniowych uwzględnione zostało również zjawisko zwiększania się tego stężenia na skutek procesów respiracji glonów. Ilościowo zjawisko to opisane zostało wielkością strumienia kinetycznego „azot amonowy – respiracja”.

Na rys. 9 przedstawiono przebieg zmienności przyrostów linii trendu strumienia kinetycznego „azot amonowy – respiracja” w analizowanym okresie, obliczonych na wszystkich rozpatrywanych odcinkach obliczeniowych z uwzględnieniem wszystkich scenariuszy zmian klimatycznych.



Rys. 9. Przyrosty funkcji linii trendu strumienia kinetycznego „azot amonowy – respiracja”

Na odcinku *Bug* wartości bezwzględnych przyrostów linii trendu zmieniały się w przedziale od 0 kg/miesiąc do 1,4 kg/miesiąc (scenariusz B1 – wrzesień). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w zbliżony sposób. W okresach styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone wartości przyrostów przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie marzec – maj zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów respiracji) dla wszystkich scenariuszy. Od maja do czerwca następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do września), a następnie stopniowy wzrost – do listopada.



W zbliżony sposób kształtowały się przebiegi zmienności rozpatrywanych wielkości na odcinku *Narew*. W tym przypadku wartości bezwzględnych przyrostów linii trendu zmieniały się w przedziale od 0 kg/miesiąc do 13,1 kg/miesiąc (scenariusz B1 –wrzesień). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w zbliżony sposób. W okresach styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone przyrosty przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie marzec – maj zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów respiracji) dla wszystkich scenariuszy. Od maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do września), a następnie stopniowy wzrost – do listopada.

Również w przypadku zmian wielkości strumienia kinetycznego „azot amonowy – respiracja” na odcinku *Zbiornik* zaobserwowano przebieg zmienności zbliżony do opisanych powyżej. Zmienność wartości przyrostów funkcji trendu zawierała się w przedziale od 0 kg/miesiąc do 2378 kg/miesiąc (scenariusz B1 – wrzesień). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w zbliżony sposób. W okresach styczeń – kwiecień i listopad – grudzień obliczone przyrosty przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie od kwietnia do maja (czerwca – wg B1) zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów respiracji). Od maja (czerwca) do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do września), a następnie szybki wzrost – do listopada.

Obliczone przebiegi zmienności przyrostów linii trendu strumienia kinetycznego „azot amonowy – respiracja” miały analogiczny charakter do opisanych wcześniej przebiegów strumienia kinetycznego „tlen rozpuszczony – respiracja”.

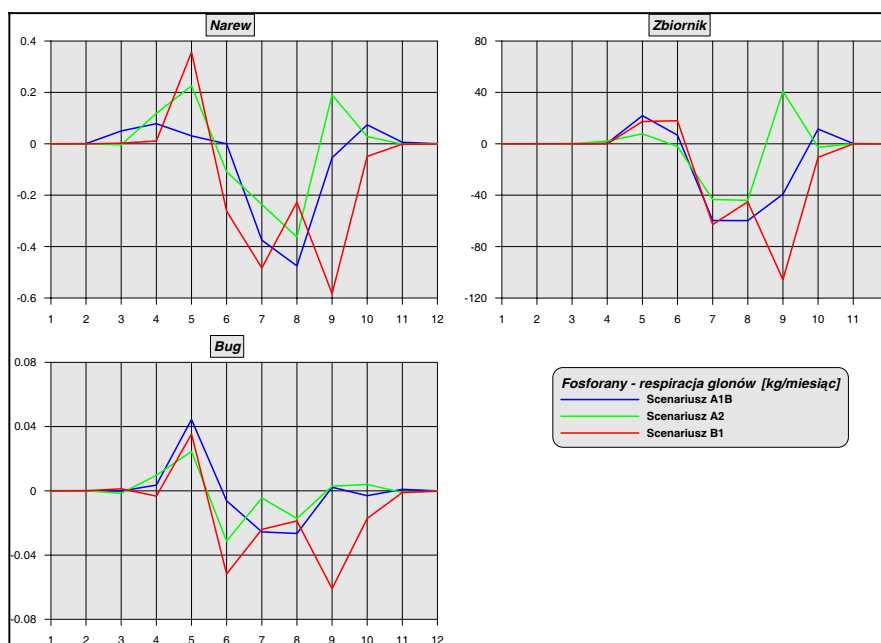
W obliczeniach dotyczących zmian zawartości fosforanów w wodach rozpatrywanych odcinkach obliczeniowych uwzględnione zostało również zjawisko zwiększania tej zawartości na skutek procesów respiracji glonów. Ilościowo zjawisko to opisywane jest wielkością strumienia kinetycznego fosforany – respiracja.

Na rys. 10 przedstawiono przebieg zmienności przyrostów linii trendu strumienia „fosforany – respiracja” w analizowanym okresie, obliczonych na rozpatrywanych odcinkach obliczeniowych z uwzględnieniem wszystkich scenariuszy zmian warunków klimatycznych.

Na odcinku *Bug* wartości bezwzględnych przyrostów linii trendu zmieniały się w przedziale od 0 kg/miesiąc do 0,06 kg/miesiąc (scenariusz B1). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w zbliżony sposób. Od stycznia do marca oraz w okresie listopad – grudzień obliczone przyrosty przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie marzec – maj zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów respiracji) dla wszystkich scenariuszy. Od maja do czerwca następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do września), a następnie powolny wzrost – do listopada.

W zbliżony sposób kształtowały się przebiegi zmienności rozpatrywanych wielkości na odcinku *Narew*. W tym przypadku wartości bezwzględnych przyrostów linii trendu zmieniały się w przedziale od 0 kg/miesiąc do 0,58 kg/miesiąc

(scenariusz B1). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w podobny sposób. W okresie styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone wartości przyrostów przyjmują wartości bliskie zeru. Od lutego – marca do kwietnia – maja obserwuje się tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów respiracji) dla wszystkich scenariuszy. Od maja do lipca – września następował spadek przyrostów linii trendu, a następnie wyraźny wzrost – do listopada.



Rys. 10. Przyrosty funkcji linii trendu strumienia kinetycznego „fosforany – respiracja”

Również w przypadku zmian wielkości strumienia kinetycznego „fosforany – respiracja” na odcinku *Zbiornik* zaobserwowano przebieg zmienności zbliżony do opisanych powyżej. Zmienność wartości przyrostów funkcji trendu w tym przypadku zawierała się w przedziale od 0 kg/miesiąc do 106 kg/miesiąc (scenariusz B1 – wrzesień). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w zbliżony sposób. W okresach styczeń – kwiecień i listopad – grudzień obliczone przyrosty przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie kwiecień – maj we wszystkich scenariuszach zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów respiracji). Od maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do września), a następnie wzrost – do listopada.

Obliczone przebiegi zmienności przyrostów linii trendu strumieni kinetycznych „fosforany – respiracja” miały analogiczny charakter do opisanych wcześniej przebiegów strumieni kinetycznych dotyczących tlenu rozpuszczonego i azotu amonowego.

Reasumując, można stwierdzić, że przeprowadzone obliczenia wykazały ogólną tendencję spadku ilości tlenu zużywanego na skutek procesów respiracji, a także ilości azotu amonowego i fosforanów uwalnianych w tym procesie w wodach odcinków obliczeniowych w rozpatrywanym okresie. Ilościowo tendencja ta była najwyraźniejsza dla scenariusza B1. Dla warunków wszystkich rozpatrywanych odcinków i scenariuszy obliczone przebiegi zmienności przyrostów linii trendu strumieni kinetycznych „tlen rozpuszczony – respiracja” miały analogiczny charakter. Należy zwrócić uwagę, że przebiegi zmienności przyrostów funkcji linii trendu wszystkich rozpatrywanych strumieni kinetycznych miały analogiczny charakter.

#### Wzrost glonów

Wzrost glonów jest uzależniony między innymi od obecności w środowisku wodnym dostatecznej ilości substancji odżywczych. W procesie wzrostu następuje wykorzystanie związków azotu (opisywanych w modelu jako stężenia azotu amonowego oraz azotanów i azotynów) i fosforu (fosforany).

Sole amonowe występujące w wodzie są pobierane przez rośliny jako niezbędny pokarm w procesie biosyntezy (asymilacji). Głony wykorzystują azot amonowy w procesie fotosyntezy. W przypadkach wielu obiektów azot jest składnikiem odżywczym warunkującym wzrost glonów [Dojlido 1987].

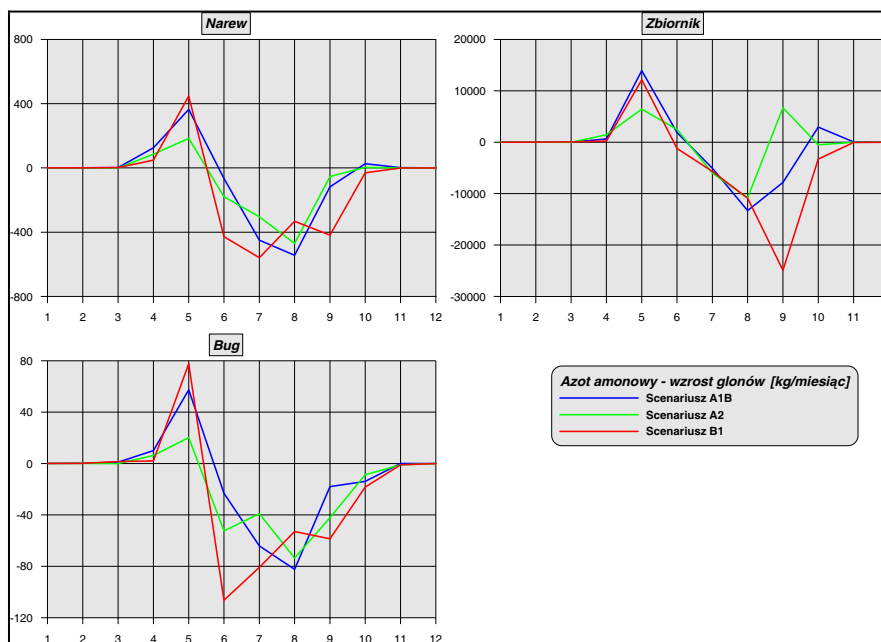
Analiza wyjściowego stanu jakościowego wód w rozpatrywanych odcinkach obliczeniowych wykazała, że wykorzystanie azotu amonowego w procesie wzrostu glonów jest głównym czynnikiem wpływającym na zawartość azotu amonowego w odcinku *Zbiornik* oraz drugim co do ważności w odcinkach *Narew* i *Bug*.

Na rys. 11 przedstawiono przebieg zmienności przyrostów linii trendu strumienia „azot amonowy – wzrost glonów” w analizowanym okresie, obliczonych na rozpatrywanych odcinkach obliczeniowych w warunkach analizowanych scenariuszy zmian klimatycznych.

Na odcinku *Bug* wartości bezwzględnych przyrostów linii trendu zmieniały się w przedziale od 0 kg/miesiąc do 106,3 kg/miesiąc (scenariusz A1B – czerwiec). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w podobny sposób. W okresach styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone przyrosty przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie marzec – maj zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów związanych ze wzrostem glonów) dla wszystkich scenariuszy. Od maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do czerwca), a następnie stopniowy wzrost – do listopada.

W zbliżony sposób kształtowały się przebiegi zmienności rozpatrywanych wielkości na odcinku *Narew*. W tym przypadku wartości bezwzględnych przyrostów linii trendu zmieniały się w przedziale od 0 kg/miesiąc do 558,7 kg/miesiąc (scenariusz A1B – lipiec). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się podobnie. W okresach styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone przyrosty przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie marzec – maj zaobserwowano tendencję

wzrostową dla wszystkich scenariuszy. Od maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do lipca), a następnie systematyczny wzrost – do listopada.



Rys. 11. Przyrosty funkcji linii trendu strumienia kinetycznego „azot amonowy – wzrost glonów”

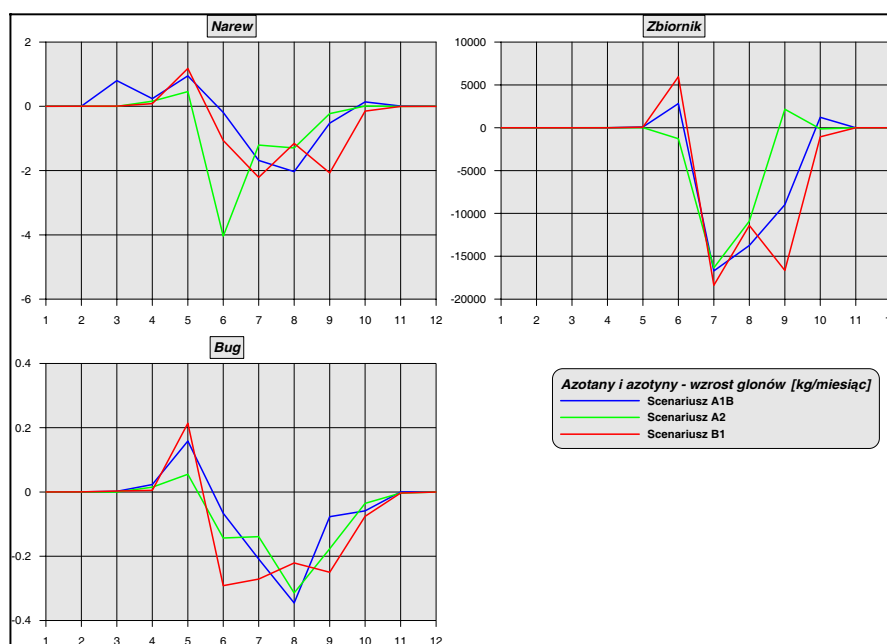
Również w przypadku zmian wielkości strumienia kinetycznego „azot amonowy – wzrost glonów” na odcinku *Zbiornik* zaobserwowano przebieg zmienności zbliżony do opisanych powyżej. Zmienność wartości przyrostów funkcji trendu zawierała się w przedziale od 0,2 kg/miesiąc (scenariusz A1B – grudzień) do 24 895 kg/miesiąc (scenariusz B1 – wrzesień). We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w zbliżony sposób. W okresach styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone przyrosty przyjmowały wartości bliskie zero. W okresie marzec – maj zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów wzrostu) dla wszystkich scenariuszy. Od maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do września), a następnie wzrost – do listopada.

Azotany należą do substancji odżywczych niezbędnych do życia roślin wodnych (w tym fitoplanktonu). Stąd w zbiornikach wodnych ich stężenie jest często uzależnione od rozwoju biomasy. W okresach wegetacyjnych stężenia azotanów spadają do bardzo małych wielkości, by zimą ponownie wzrosnąć. Azotyny na ogół występują w wodach w niewielkich stężeniach i nie wywierają istotnego wpływu na środowisko wodne [Dojlido 1987].

Analiza wyjściowego stanu jakościowego wód w rozpatrywanych odcinkach obliczeniowych wykazała, że wykorzystanie azotanów i azotynów w procesie wzrostu glonów jest głównym czynnikiem wpływającym na zawartość azotu amonowego na odcinku *Zbiornik* i odgrywa zdecydowanie mniejszą rolę niż na odcinkach *Narew* i *Bug*.

Na rys. 12 przedstawiono przebieg zmienności przyrostów linii trendu strumienia „azotany i azotyny – wzrost glonów” w analizowanym okresie, obliczonych na odcinkach obliczeniowych w warunkach wszystkich rozpatrywanych scenariuszy zmian klimatycznych.

Na odcinku *Bug* wartości bezwzględnych przyrostów linii trendu zmieniały się w przedziale od 0 kg/miesiąc do 0,3 kg/miesiąc. We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się podobnie. W okresach styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone wartości przyrostów przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie marzec – maj zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów związanych ze wzrostem glonów) dla wszystkich scenariuszy. Od maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do czerwca), a następnie stopniowy wzrost – do listopada.



Rys. 12. Przyrosty funkcji linii trendu strumienia kinetycznego „azotany – wzrost glonów”

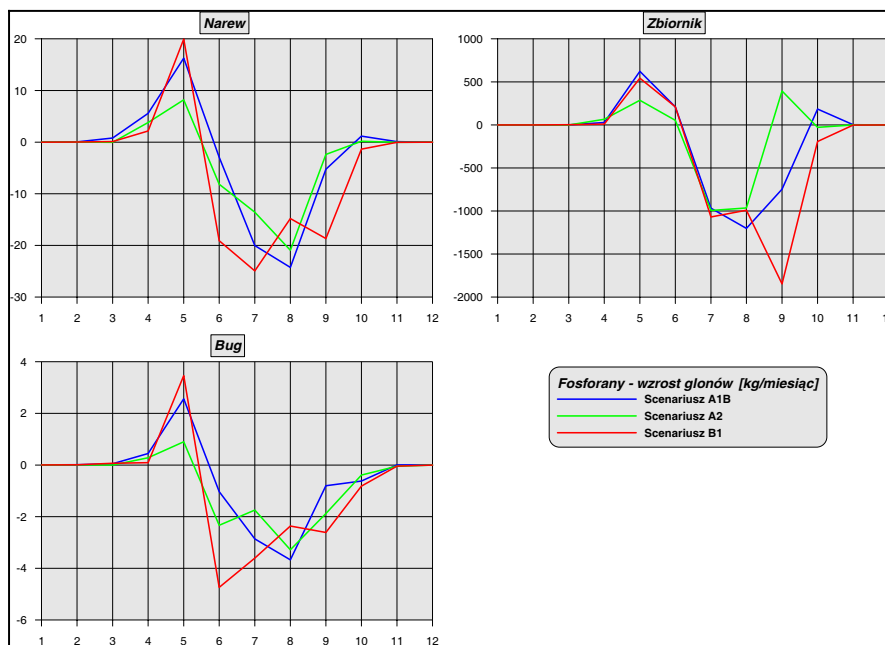
W zbliżony sposób kształtowały się przebiegi zmienności rozpatrywanych wielkości na odcinku *Narew*. W tym przypadku wartości bezwzględnych przyrostów linii trendu zmieniały się w przedziale od 0 kg/miesiąc do 4 kg/miesiąc. We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych

przyrostów kształtowały się w zbliżony sposób. W okresach styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone przyrosty przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie marzec – maj zaobserwowano wzrost dla wszystkich scenariuszy. Od maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza A2 – do czerwca), a następnie powolny wzrost – do listopada.

Również w przypadku zmian wielkości strumienia kinetycznego „azotany i azotyny – wzrost glonów” na odcinku *Zbiornik* zaobserwowano przebieg zmienności zbliżony do opisanych powyżej. Zmienność wartości przyrostów funkcji trendu w tym przypadku zawierała się w przedziale od 0 kg/miesiąc do 18 380 kg/miesiąc.

We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się podobnie. W okresach styczeń – maj i listopad – grudzień obliczone wartości przyrostów przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie maj – czerwiec zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów wzrostu) dla wszystkich scenariuszy. Od maja do lipca następował spadek przyrostów linii trendu, a następnie stopniowy wzrost do listopada.

Fosforany należą do związków pokarmowych i z tego powodu biorą szczególnie intensywny udział w przemianach biochemicznych w wodach powierzchniowych. Obserwuje się tam okresowość występowania fosforanów. W lecie wskutek rozwoju glonów następuje ich zanik, natomiast w innych porach roku glony i obumarłe rośliny ulegają rozkładowi i wzbogacają wodę w związki fosforanowe [Dojlido 1987].



Rys. 13. Przyrosty funkcji linii trendu strumienia kinetycznego „fosforany – wzrost glonów”

Analiza wyjściowego stanu jakościowego wód na rozpatrywanych odcinkach obliczeniowych wykazała, że wykorzystanie fosforanów w procesie wzrostu glonów jest głównym czynnikiem wpływającym na ich zawartość na wszystkich odcinkach obliczeniowych.

Na rys. 13 przedstawiono przebieg zmienności przyrostów linii trendu strumienia kinetycznego „fosforany – wzrost glonów” w analizowanym okresie, obliczonych na rozpatrywanych odcinkach obliczeniowych w warunkach trzech analizowanych scenariuszy zmian klimatycznych.

Na odcinku *Bug* wartości bezwzględnych przyrostów linii trendu zmieniały się w przedziale od 0 kg/miesiąc do 4,7 kg/miesiąc. We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w zbliżony sposób. W okresach styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone wartości przyrostów przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie marzec – maj zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów związanych ze wzrostem glonów) dla wszystkich scenariuszy. Od maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do czerwca), a następnie powolny wzrost – do listopada.

W zbliżony sposób kształtowały się przebiegi zmienności rozpatrywanych wielkości na odcinku *Narew*. Wartości bezwzględnych przyrostów linii trendu zmieniały się w przedziale od 0 kg/miesiąc do 25 kg/miesiąc. We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności wartości tych przyrostów kształtowały się w podobny sposób. W okresach styczeń – marzec i listopad – grudzień obliczone przyrosty przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie marzec – maj zaobserwowano tendencję wzrostową dla wszystkich scenariuszy. Od maja do sierpnia następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do lipca), a następnie systematyczny wzrost – do listopada.

Również w przypadku zmian wielkości strumienia kinetycznego „fosforany – wzrost glonów” na odcinku *Zbiornik* zaobserwowano przebieg zmienności zbliżony do opisanych powyżej. Zmienność wartości przyrostów funkcji trendu zawierała się w przedziale od 0 kg/miesiąc do 1847 kg/miesiąc. We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przebiegi zmienności tych przyrostów kształtowały się w zbliżony sposób. W okresach styczeń – kwiecień i listopad – grudzień obliczone przyrosty przyjmowały wartości bliskie zeru. W okresie kwiecień – maj zaobserwowano tendencję wzrostową (intensyfikacja procesów wzrostu) dla wszystkich scenariuszy. Od maja do lipca następował spadek przyrostów linii trendu (w przypadku scenariusza B1 – do września), a następnie wzrost – do listopada.

Reasumując, można stwierdzić, że przeprowadzone obliczenia wykazały ogólną tendencję do spadku ilości rozpatrywanych form azotu i fosforu wykorzystywanych w procesach wzrostu glonów na wszystkich odcinkach obliczeniowych w rozpatrywanym okresie. Ilościowo tendencja ta była najwyraźniejsza w przypadku scenariusza B1. Dla warunków wszystkich rozpatrywanych odcinków i scenariuszy obliczone przebiegi zmienności przyrostów linii trendu strumieni kinetycznych związanych ze wzrostem glonów miały analogiczny charakter. Zużycie rozpatrywanych substancji w procesach wzrostu glonów było funkcją między innymi

stężenia glonów (mierzonego w warunkach omawianego zadania poziomem chlorofilu). W związku z tym zaobserwowane spowolnienie procesów wzrostu w okresie letnim było ściśle związane z kształtowaniem się zmian stężeń tego wskaźnika.

Obliczenia i wykonana na ich podstawie analiza zmienności elementów dynamiki biocenozy, zachodzącej pod wpływem przewidywanych zmian klimatycznych na rozpatrywanych odcinkach obliczeniowych, pozwoliła na wyznaczenie głównych kierunków tej zmienności. Ich określenie pozwoliło na ogólną ocenę wpływu przewidywanych zmian klimatycznych na dynamikę biocenozy w zakresie objętych prognozą, dla wszystkich uwzględnianych scenariuszy. W tab. 3 zestawiono kierunki zmian rozpatrywanych elementów dynamiki biocenozy dla wszystkich odcinków i scenariuszy zmian klimatycznych.

W tab. 3 znakiem „-” oznaczono występowanie ogólnej tendencji spadkowej, natomiast znak „=” oznacza, że nie stwierdzono występowania istotnych tendencji zmian.

Tab. 3. Kierunki zmian elementów dynamiki biocenozy

	Chlorofil	Tlen rozpuszczony		Azot amonowy		Azotany	Fosforany	
		Fotosynteza	Respiracja	Wzrost	Respiracja	Wzrost	Wzrost	Respiracja
<b>Scenariusz A1B</b>								
Zbiornik	-	-	-	-	-	-	-	-
Bug	-	-	-	-	=	=	=	=
Narew	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Scenariusz A2</b>								
Zbiornik	-	-	-	-	-	-	-	-
Bug	-	-	-	-	=	-	-	=
Narew	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Scenariusz B1</b>								
Zbiornik	-	-	-	-	-	-	-	-
Bug	-	-	-	-	-	-	-	=
Narew	-	-	-	-	-	-	-	-

W obliczeniach uwzględniono dwa rodzaje parametrów opisujących zmienność stanu jakościowego wód powierzchniowych. Pierwszy to stężenie chlorofilu *a*. Kształtowanie się wartości tego stężenia było wypadkową wszystkich czynników i procesów mających wpływ na dynamikę biocenozy odbiornika. Dla zagadnień będących przedmiotem omawianej pracy stanowiły więc one pewnego rodzaju miarę „syntetyczną” zmienności tej dynamiki w rozpatrywanych obiektach badawczych, zachodzącej pod wpływem przewidywanych zmian klimatycznych. Drugim rodzajem parametrów były strumienie kinetyczne, opisujące ilościowy wpływ wybranych procesów zachodzących w środowisku wodnym na kształtowanie się wartości stężeń określonych wskaźników jakości wody.

Podstawowym wskaźnikiem określającym dynamikę biocenozy jest stężenie chlorofilu *a*, będące miarą zawartości biomasy (fitoplanktonu) w wodzie. Obliczenia wykazały wpływ przewidywanych zmian klimatycznych na zmienność stężenia chlorofilu *a* w wodach rozpatrywanych obiektów badawczych. Analiza kierunków



zmian stężeń chlorofilu „a” wykazała, że w przypadku wszystkich odcinków obliczeniowych, dla wszystkich scenariuszy, wystąpiła ogólna tendencja spadkowa stężenia tego wskaźnika. Relatywnie największych zmian należy oczekiwać na odcinku *Zbiornik*. Należy zwrócić uwagę na dwa zasadnicze, jak się wydaje, zagadnienia charakteryzujące wpływ przewidywanych zmian klimatycznych na rozwój populacji glonów w wodach rozpatrywanych obiektów badawczych: zmniejszenie ilości glonów w okresie letnim oraz wydłużenie ich okresu rozwojowego. Taką tendencję potwierdziły przebiegi zmienności analizowanych strumieni kinetycznych.

## **Wpływ zmian klimatycznych na jakość wód pobieranych do zaopatrzenia ludności**

Paweł Trandziuk, Krzysztof Witowski

Zakłada się, że przewidywane zmiany klimatyczne mogą mieć wpływ na stan jakościowy wód powierzchniowych przeznaczonych do zaopatrzenia ludności w wodę do picia; mogą utrudnić, a nawet uniemożliwić zaopatrzenie w zdrową wodę, o jakości wymaganej przepisami Unii Europejskiej. Zmiany stanu jakościowego mogą wywołać konieczność modyfikacji stosowanych technologii uzdatniania wody.

Ocenę wpływu zmian klimatycznych na jakość wody pobieranej do zaopatrzenia miast przeprowadzono na przykładzie ujęcia w Wieliszewie, na Zalewie Zegrzyńskim (rys. 1). Scharakteryzowano stan jakościowy następującym zestawem parametrów: temperatura wody, % tlenu rozpuszczonego, BZT<sub>5</sub>, glony jako chlorofil *a*, azotany, amoniak i fosforany. Konieczność badania m.in. tych parametrów, oprócz chlorofilu *a*, określa *rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia* [2002]. W analizie uwzględniono także chlorofil *a* jako ważny parametr, będący miarą ilości glonów, które w określonych warunkach mogą powodować istotne zmiany parametrów jakości wody, przede wszystkim w bilansie tlenowym i stężeniach zw. organicznych.

Oceny wpływu zmian klimatycznych dokonano na podstawie analizy zmienności parametrów jakości wody w badanym wieloleciu (2010–2030) opisanych powyżej dla trzech scenariuszy rozwojowych: A1B, A2 i B1. Parametry, w przypadku których zaobserwowano istotne zmiany, porównano do wielkości granicznych zamieszczonych w rozporządzeniu [Rozporządzenie... 2002], w celu dokonania oceny czy zmiany te mogą spowodować konieczność modyfikacji technologii uzdatniania. W rozporządzeniu zostały wyznaczone trzy kategorie jakości wody, w zależności od wartości granicznych wskaźników, która z uwagi na zanieczyszczenie musi być poddana standardowym procesom uzdatniania w celu uzyskania wody przeznaczonej do spożycia. Te kategorie to:

A1 – woda wymagająca prostego uzdatniania fizycznego, w szczególności filtracji oraz dezynfekcji;

A2 – woda wymagająca typowego uzdatniania fizycznego i chemicznego, w szczególności utleniania wstępnego, koagulacji, flokulacji, dekantacji, filtracji, dezynfekcji (chlorowania końcowego);

A3 – woda wymagająca wysokosprawnego uzdatniania fizycznego i chemicznego, w szczególności utleniania, koagulacji, flokulacji, dekantacji, filtracji, adsorpcji na węglu aktywnym, dezynfekcji (ozonowania, chlorowania końcowego).

W przypadku chlorofilu *a* dodatkowo przeprowadzono analizę częstości występowania wartości maksymalnych. Wykonano ją w oparciu na podziale wg klas czystości wód dla chlorofilu *a* zamieszczonym w załączniku 1. do *rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych* [2008]. Dane pogrupowano w ujęciu miesięcznym (w celu analizy wpływu scenariuszy klimatycznych w poszczególnych sezonach dla całego badanego wielolecia) oraz w ujęciu rocznym (w celu wyznaczenia i zbadania trendów zmian dotyczących liczby dni w danej klasie na przestrzeni całego badanego wielolecia).

Zgodnie z założeniami, w przypadku analizy zmian wartości stężeń parametrów jakości wody, jako miarę porównawczą przyjęto wartości względnych miesięcznych przyrostów funkcji trendu zmienności. Obliczone przyrosty funkcji trendów wybranych wskaźników jakości wody w rozbiciu na miesiące dla trzech scenariuszy zamieszczono w tab.1 w poprzednim rozdziale.

Wyniki zamieszczone w tab. 1 wskazują, że ogólna zmienność stężeń badanych wskaźników (kolumna rok) była niewielka. Jedynie w przypadku amoniaku występował wzrost powyżej 5% dla scenariusza A1B i B1, a dla chlorofilu *a* spadek – niewiele powyżej 1% dla wszystkich trzech scenariuszy. W rozbiciu na miesiące największą zmiennością w badanym wieloleciu charakteryzowały się wskaźniki: amoniak, chlorofil *a* oraz % nasycenia tlenem rozpuszczonym. Zmienność miesięczna tych wskaźników była większa w miesiącach ciepłych (zarówno wzrost, jak i spadek). Można zatem przyjąć, że przewidywane zmiany klimatyczne mogą wpływać w większym stopniu na zmianę jakości analizowanych parametrów jakości wody na ujęciu w Wieliszewie podczas miesięcy ciepłych – głównie lipiec – wrzesień).

Dane w tab. 1 wskazują, że ogólnie stężenie amoniaku charakteryzowało się największą zmiennością. Najwyższy wzrost stężenia w ujęciu rocznym wystąpił w scenariuszu B1 i wynosił 8,57%. Natomiast duże różnice zmienności stężenia zarejestrowano w poszczególnych miesiącach – przede wszystkim od maja do września. W maju zaobserwowano niewielkie spadki stężenia amoniaku, a we wrześniu wzrosty jeśli chodzi o scenariusze A1B i B1. Największy miesięczny przyrost, równy 85%, wystąpił we wrześniu w obliczeniach wg scenariusza B1.

Porównanie względnych przyrostów funkcji trendu z wartościami referencyjnymi (wartości początkowe funkcji linii trendu), oraz wartościami granicznymi dla kat. jakości wody A1 dla amoniaku przedstawiono na rys. 1. Z wykresu wynika, że choć uzyskane z obliczeń modelowych przyrosty przyjmowały względnie duże

wartości procentowe, to zachodziły w miesiącach o najniższych stężeniach, a ich wartości bezwzględne były niewielkie. Odwrotnie było w miesiącach o największych stężeniach początkowych (grudzień – kwiecień); wtedy przyrosty były najmniejsze. Ponadto nie powodowały znaczących zmian w stężeniach wskaźnika względem przyjętych progów. W miesiącach ciepłych (czerwiec – wrzesień) występowały trendy wywołujące w kilku wypadkach przekroczenie zalecanego progu, jednak jest to próg najniższy – kategorii A1, czyli dla wód wymagających tylko prostego uzdatniania fizycznego. Były to zmiany mało istotne, niemogące w żaden sposób zagrażać jakości wód pobieranych na ujęciu w Wieliszewie.

Tab. 1. Wartości względnych przyrostów funkcji trendu zmian parametrów jakości wody w przekroju ujęcia wody w Wieliszewie. Zestawienie w układzie miesięcznym dla trzech analizowanych scenariuszy klimatycznych

Wskaźnik	Scen.	Miesiąc												rok
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Temperatura wody*	A1B	-0,01	0,22	0,00	0,03	0,49	0,22	0,15	0,26	0,42	-0,14	1,44	0,05	0,18
	A2	-0,19	0,44	-0,61	0,00	0,50	-0,40	0,22	-0,07	0,67	0,23	-0,52	-0,16	-0,08
	B1	-0,64	0,21	0,93	0,03	-0,04	-0,58	0,22	0,48	-1,10	-0,11	-0,48	-1,26	-0,28
% nasycenia tlenem rozp.	A1B	2,60	1,51	1,02	0,97	2,20	-2,15	-3,96	-3,00	-1,48	2,04	5,35	2,72	0,57
	A2	-2,75	0,03	1,40	0,92	0,18	-1,02	-1,22	1,14	0,28	1,33	2,19	1,26	0,23
	B1	0,95	4,33	0,81	0,37	0,53	-0,49	-0,51	-2,14	-4,29	-0,59	3,18	0,87	0,17
BZT <sub>5</sub>	A1B	1,65	-0,15	-0,07	-0,01	0,05	-0,05	-1,23	-0,10	-0,06	-0,35	-0,46	-0,13	-0,16
	A2	1,74	-0,16	0,17	0,09	-0,06	0,38	-0,41	-0,28	0,08	-0,44	0,30	-0,04	0,03
	B1	1,80	-0,09	-0,34	0,00	0,12	0,62	-1,26	0,49	1,02	-0,13	0,42	0,24	0,16
Chlorofil "a"	A1B	-1,44	0,03	0,04	1,68	10,78	-3,88	-12,15	-12,06	-10,43	7,04	0,79	0,00	-1,72
	A2	-1,40	-0,06	-0,24	5,55	6,11	-2,94	-2,94	-0,85	0,95	-15,71	-0,43	-0,04	-1,08
	B1	-1,36	0,07	1,02	5,63	4,99	3,75	-3,93	-9,99	-23,24	9,74	-0,57	-0,36	-1,27
Amoniak	A1B	-0,64	-0,13	-0,02	-0,18	-4,85	22,55	21,33	22,28	13,27	-0,39	-1,24	-0,17	5,90
	A2	-0,56	-0,30	0,51	-0,32	-4,08	14,27	2,70	-4,60	-20,54	-0,55	0,57	-0,04	-1,16
	B1	-0,38	-0,11	-1,00	-0,32	-1,51	0,69	0,77	19,87	85,17	-0,09	0,54	0,27	8,57
Azotany	A1B	-0,57	-0,07	-0,07	0,10	-0,05	0,53	2,23	3,42	2,24	-1,28	-0,11	-0,15	0,44
	A2	-0,56	-0,13	0,03	0,16	0,22	-0,27	1,58	0,72	1,34	-0,54	-0,09	-0,10	0,11
	B1	-0,52	-0,05	-0,06	0,13	0,11	-0,57	0,62	1,97	5,53	0,32	-0,03	-0,34	0,51
Fosforany	A1B	-0,17	-0,01	0,18	0,04	-0,47	0,58	4,30	1,19	1,45	-0,54	-0,12	0,00	0,45
	A2	-0,15	-0,03	0,22	-0,03	-0,30	0,27	0,36	-1,74	-0,16	-0,22	-0,02	-0,05	-0,24
	B1	-0,14	-0,03	0,21	-0,01	-0,27	-0,32	0,49	1,64	2,01	0,01	-0,03	-0,01	0,21

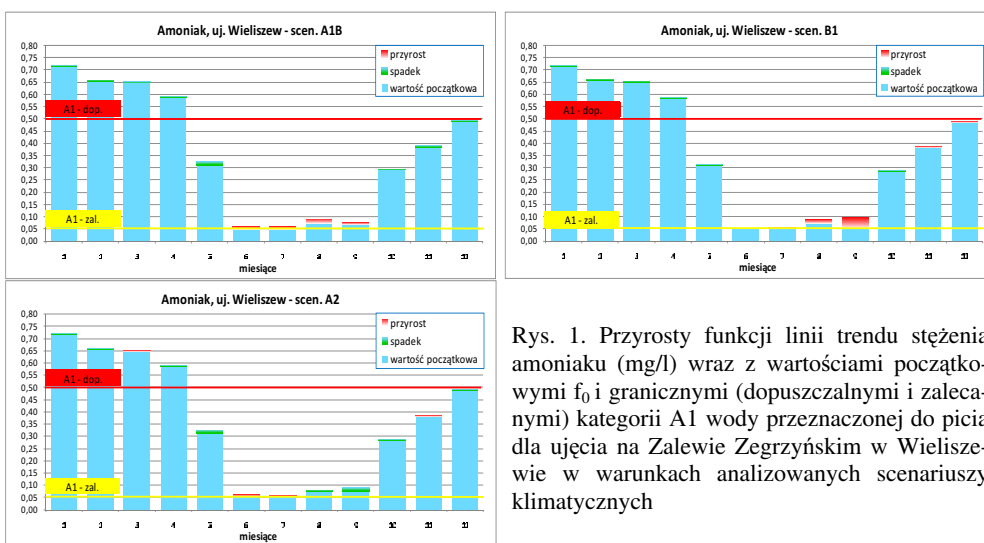
legenda\*    poniżej -5%    -5% ÷ -2%    -2% ÷ -1%    -1% ÷ 1%    1% ÷ 2%    2% ÷ 5%    od 5%

\*w przypadku temperatury wody skala w °C

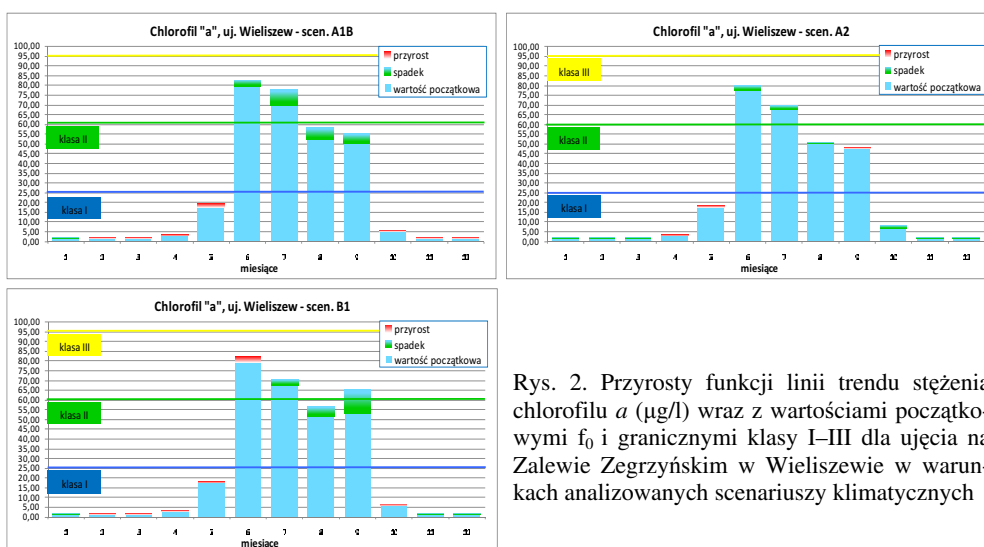
Dane zamieszczone w tab. 1 wskazują, że drugie pod względem wielkości zmian było stężenie chlorofilu *a*. Podobnie do amoniaku, charakteryzowało się dużą zmiennością w poszczególnych miesiącach. Największa wystąpiła od kwietnia do października. W tym okresie występowały zarówno spadki stężeń chlorofilu do ok. 23%, jak i wzrosty o niecałe 10%. Spadki stężeń wystąpiły w miesiącach letnich (czerwiec – wrzesień), a w pozostałych miesiącach – wzrosty.

Porównanie względnych przyrostów funkcji trendu stężenia chlorofilu *a* z wartościami referencyjnymi oraz granicznymi dla klas czystości wody przedstawiono na rys. 2. Podobnie do amoniaku, największa zmienność stężenia chlorofilu *a* występowała w miesiącach ciepłych, tj. w okresie wegetacji, gdy stężenie było

największe. Były to jednak głównie spadki stężenia. Wzrost stwierdzono w maju we wszystkich scenariuszach, a także w czerwcu w scenariuszu B1. Ten drugi przypadek jest o tyle istotny, że wystąpił, gdy stężenie początkowe było stosunkowo wysokie, odpowiadające klasie III wody (stężenie w maju nie przekraczało wartości granicznych dla I klasy). Może to stanowić pewne zagrożenie dla pracy ujęcia wody w Wieliszewie i procesów uzdatniania wody. Należy podkreślić, że analiza opiera się na danych średniomiesięcznych, w których nie ma informacji o wartościach ekstremalnych. W celu wykrycia takich wartości i próby wyznacze-



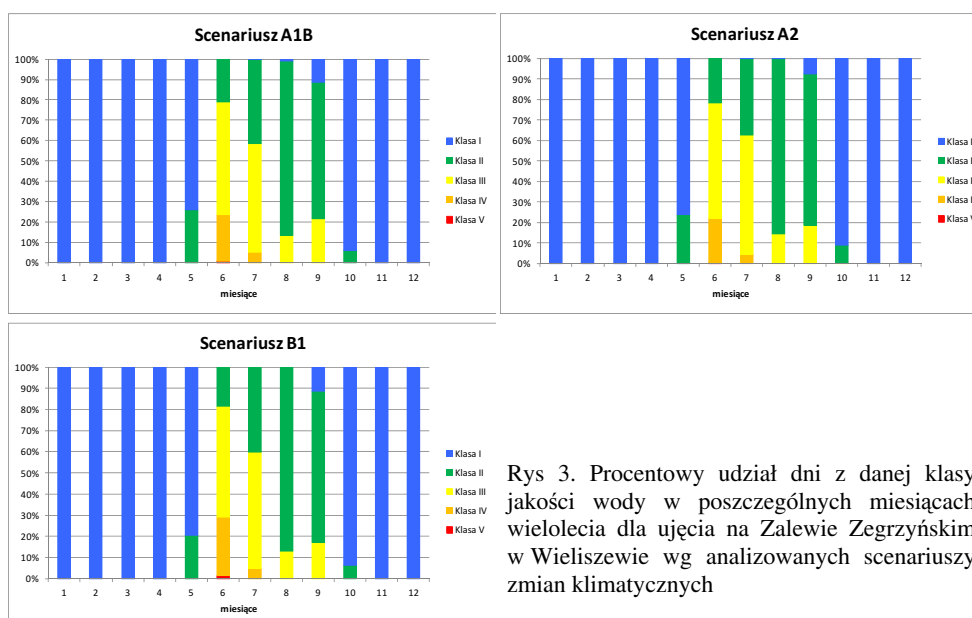
Rys. 1. Przyrosty funkcji linii trendu stężenia amoniaku (mg/l) wraz z wartościami początkowymi  $f_0$  i granicznymi (dopuszczalnymi i zalecanymi) kategorii A1 wody przeznaczonej do picia dla ujęcia na Zalewie Zegrzyńskim w Wieliszewie w warunkach analizowanych scenariuszy klimatycznych



Rys. 2. Przyrosty funkcji linii trendu stężenia chlorofilu *a* (µg/l) wraz z wartościami początkowymi  $f_0$  i granicznymi klasy I–III dla ujęcia na Zalewie Zegrzyńskim w Wieliszewie w warunkach analizowanych scenariuszy klimatycznych

nia ich trendów w badanym wieloleciu przeprowadzono dodatkową analizę zmienności wartości dobowych. Dane pogrupowano wg miesiące dla każdego ze scenariuszy klimatycznych, a następnie podzielono według klas czystości. Tak pogrupowane dane przedstawiono na rys. 3.

Z wykresów na rys. 3 wynika, że w czerwcu maksymalne wartości występowały najczęściej. W skali roku w czerwcu wystąpiło najwięcej dni, gdy woda osiągała IV i V klasę czystości i to we wszystkich przypadkach analizowanych scenariuszy zmian klimatycznych. Największą liczbę dni z wyższą klasą jakości wody (w szczególności klasy V) w tym miesiącu stwierdzono w scenariuszu B1, a najmniejszą – w scenariuszu A2. Dla scenariusza B1 zarejestrowano dwukrotnie częstsze wystąpienia dni z klasą V czystości wody (8 wystąpień) niż dla scenariusza A1B (4 wystąpienia) i czterokrotnie częstsze niż dla scenariusza A2 (2 wystąpienia).



Rys 3. Procentowy udział dni z danej klasy jakości wody w poszczególnych miesiącach wielolecia dla ujęcia na Zalewie Zegrzyńskim wg analizowanych scenariuszy zmian klimatycznych

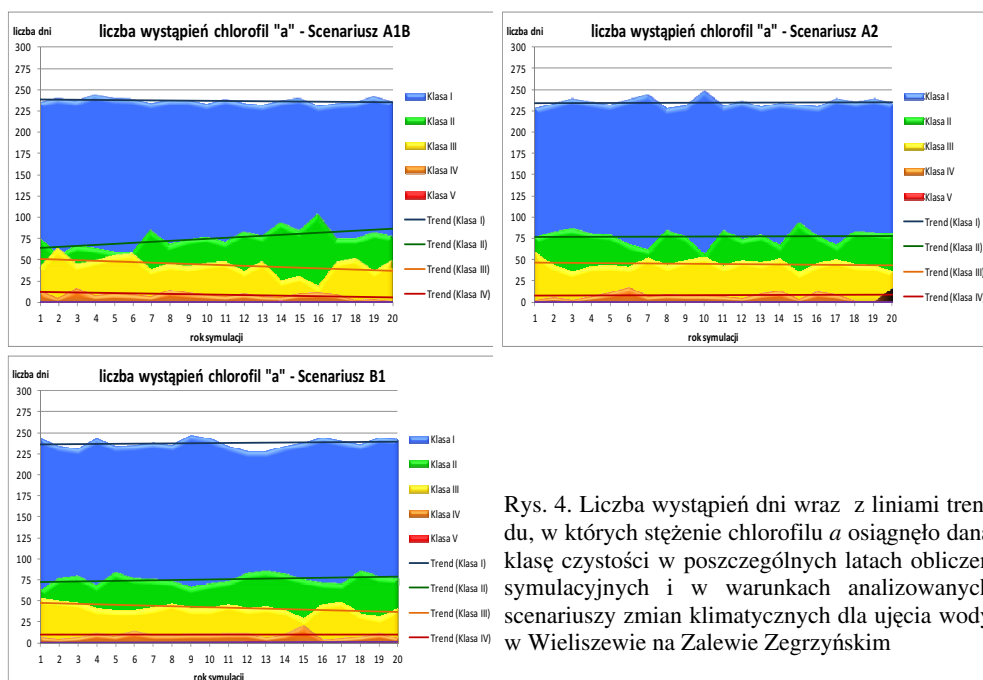
W celu zbadania trendów w częstości występowania dni z daną klasą jakości wody dla stężenia chlorofilu *a* analizowano dobowe wartości dla poszczególnych lat z okresu 2010–2030. Wyniki analizy zamieszczono w tab. 2 oraz wraz z liniami trendu przedstawiono na rys. 4. Zbyt mała liczba dni, w których woda odznaczała się V klasą jakości nie pozwoliła na wyznaczenie dla niej regresji liniowej. Dla V klasy analizę częstości przeprowadzono na podstawie tab. 2.

Z analiz przebiegu trendów liniowych zmian jakości wody w klasach I–IV dla badanego wielolecia wynika, że znaczące zmiany w liczebności klas zachodziły jedynie w wypadku scen. A1B. Zaobserwowano tendencję do zmniejszania się liczebności klas wyższych (III i IV) oraz wzrost liczebności klasy II. Dla scen. A2 i B1 natomiast nie wystąpiły istotne zmiany trendu liczebności klas od I do IV

w ciągu badanego wielolecia. Z danych w tab. 2 wynika, że w wypadku V klasy czystości wody występuje niewielki wzrost częstości wystąpień z biegiem symulacji dla scen. B1. W ciągu pierwszych 11 lat symulacji było tylko jedno wystąpienie (w 4. roku), natomiast sześć z ośmiu miało miejsce w 12., 13. i 15. roku symulacji (po dwa wystąpienia w każdym roku). Jeśli chodzi o scen. A1B i A2, to rozkład częstości wystąpień w kolejnych latach nie wskazywał na występowanie trendów.

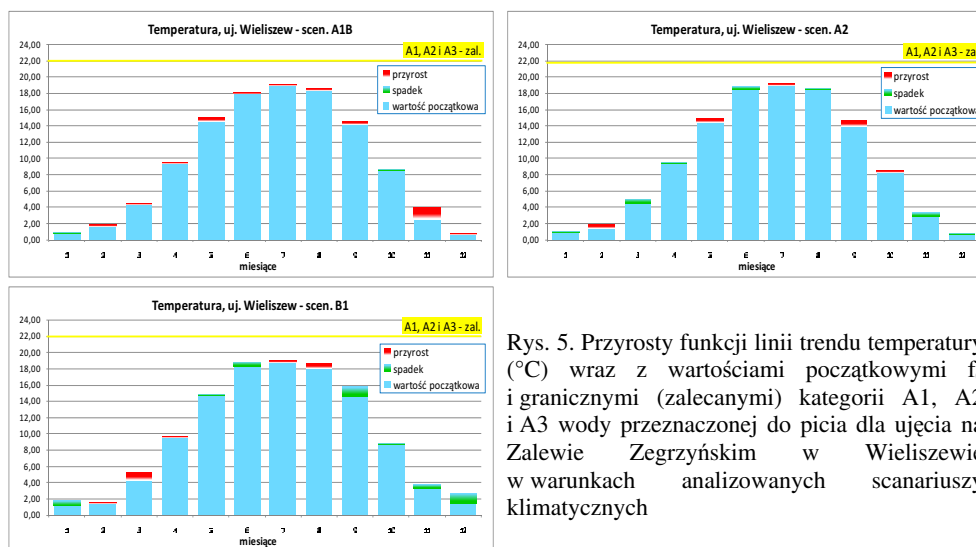
Tab. 2. Porównanie liczby dni, w których stężenie chlorofilu *a* osiągnęło daną klasę czystości w poszczególnych latach obliczeń symulacyjnych i w warunkach analizowanych scenariuszy zmian klimatycznych

A1B						A2						B1					
rok	Klasa I	Klasa II	Klasa III	Klasa IV	Klasa V	rok	Klasa I	Klasa II	Klasa III	Klasa IV	Klasa V	rok	Klasa I	Klasa II	Klasa III	Klasa IV	Klasa V
0	235	79	48	3	0	0	235	79	48	3	0	0	235	79	48	3	0
1	235	76	40	13	1	1	228	76	58	3	0	1	243	62	53	7	0
2	240	56	64	5	0	2	233	83	43	6	0	2	234	76	50	5	0
3	237	67	45	16	0	3	239	87	36	3	0	3	231	79	48	7	0
4	244	64	49	8	0	4	235	81	42	7	0	4	243	68	41	12	1
5	240	60	55	10	0	5	232	79	43	11	0	5	234	83	39	9	0
6	239	59	58	9	0	6	238	68	41	17	1	6	235	76	39	15	0
7	234	85	39	7	0	7	244	62	52	7	0	7	238	75	42	10	0
8	238	68	45	14	0	8	228	85	43	9	0	8	235	73	47	10	0
9	238	74	42	11	0	9	231	77	49	8	0	9	247	66	41	11	0
10	233	77	46	9	0	10	248	56	53	9	0	10	243	70	41	11	0
11	239	71	48	7	0	11	231	85	42	7	0	11	234	73	46	12	0
12	234	83	37	10	1	12	236	74	49	5	1	12	228	82	41	12	2
13	232	78	48	7	0	13	230	79	46	10	0	13	228	85	43	7	2
14	237	94	26	6	2	14	234	67	51	13	0	14	234	81	39	11	0
15	240	84	31	10	0	15	232	94	35	4	0	15	238	75	29	21	2
16	231	104	19	11	0	16	230	78	45	12	0	16	244	71	46	4	0
17	234	75	47	9	0	17	239	67	50	9	0	17	240	70	49	6	0
18	235	75	52	3	0	18	235	84	44	2	0	18	236	85	35	8	1
19	242	82	37	4	0	19	239	82	43	1	0	19	244	78	31	12	0
20	236	78	49	2	0	20	233	80	36	16	0	20	242	76	41	6	0
<b>średnia</b>	236,9	75,5	43,9	8,6	0,2	<b>średnia</b>	234,8	77,2	45,1	7,9	0,1	<b>średnia</b>	237,6	75,2	42,1	9,8	0,4
<b>% ogółu</b>	64,88	20,73	12,07	2,27	0,05	<b>% ogółu</b>	64,32	21,17	12,38	2,1	0,03	<b>% ogółu</b>	66,05	20,65	11,6	2,6	0,1
<b>odch. σ</b>	3,29	11,17	10,13	3,61	0,50	<b>odch. σ</b>	4,95	8,78	5,76	4,31	0,29	<b>odch. σ</b>	5,28	6,03	5,91	3,98	0,72



Rys. 4. Liczba wystąpień dni wraz z liniami trendu, w których stężenie chlorofilu *a* osiągnęło daną klasę czystości w poszczególnych latach obliczeń symulacyjnych i w warunkach analizowanych scenariuszy zmian klimatycznych dla ujęcia wody w Wieliszewie na Zalewie Zegrzyńskim

Dane zamieszczone w tab. 1 wskazują, że zmienność temperatury w badanym wieloleciu w rozpatrywanych scenariuszach była niewielka. W żadnym z nich nie zaobserwowano przekroczenia wartości zalecanych 22°C (rys. 5). W miesiącach ciepłych, o największym ryzyku przekroczenia wartości progu zalecanego, zaobserwowano mniejszą zmienność temperatury niż w miesiącach zimnych. W przypadku scenariusza A1B wystąpiła ogólna tendencja wzrostu temperatury, natomiast w przypadku pozostałych scenariuszy – A2 i B1 – widoczne są tendencje spadkowe.



Rys. 5. Przyrosty funkcji linii trendu temperatury (°C) wraz z wartościami początkowymi  $f_0$  i granicznymi (zalecanymi) kategorii A1, A2 i A3 wody przeznaczonej do picia dla ujęcia na Zalewie Zegrzyńskim w Wieliszewie w warunkach analizowanych scenariuszy klimatycznych

W przypadku wskaźnika nasycenia tlenem (wyrażonego w %), dane zamieszczone w tab. 1 wskazują, że we wszystkich analizowanych scenariuszach uzyskano niewielką dodatnią zmienność stężenia. Największy przyrost wystąpił w przypadku scenariusza A1B (0,57%), a najmniejszy w B1 (0,17%). W ujęciu miesięcznym, w okresie chłodnym (od października do maja) wyraźnie przeważały wzrosty, a w okresie ciepłym (od czerwca do września) – spadki nasycenia tlenem. Oznacza to, że w okresie chłodnym, o stosunkowo najmniejszych wartościach nasycenia tlenem, nastąpiło nieznaczne polepszenie warunków jakościowych, a w okresie ciepłym, o dużym nasyceniu tlenem – pogorszenie jakości wody. Warto podkreślić, że w porównaniu do innych analizowanych zmian wskaźników jakości wody (tab. 1) nasycenie tlenem rozpuszczonym charakteryzowało się największą zmiennością w kolejnych miesiącach roku.

Z danych zestawionych w tab.1 wynika, że w przypadku pozostałych rozpatrywanych wskaźników, tj: BZT<sub>5</sub>, azotanów i fosforanów, wystąpiła bardzo niewielka zmienność stężeń tych wskaźników w badanym wieloleciu. W przypadku BZT<sub>5</sub> roczna zmienność nie przekraczała 0,16% (scenariusz A1B i B1). We wszystkich trzech scenariuszach największa zmienność stężeń miesięcznych wystąpiła w styczniu (przyrost o niecałe 2%) oraz w lipcu (zakres spadku od 0,41%



w scenariuszu A2 do 1,26% w scenariuszu B1). W przypadku azotanów roczna zmienność nie przekraczała 0,51% (wg B1). Największy przyrost zmienności stężenia wystąpił we wrześniu we wszystkich trzech scenariuszach (przyrost o 1,34% wg scenariusza A2 i 5,53% wg scenariusza B1). W przypadku fosforanów roczna zmienność stężenia nie przekraczała 0,45% (wg scenariusza A1B). Największa zmienność stężenia wystąpiła w okresie lipiec – wrzesień. We wszystkich trzech scenariuszach stwierdzone zmiany stężenia w tym okresie zawierały się od +4,30% (lipiec – scen. A1B) do -1,74% (sierpień – scen. A2). Przytoczone wartości świadczą o minimalnym wpływie przewidywanych zmian klimatycznych na zmienność stężeń tych parametrów w symulowanym wieloleciu.

Podsumowując należy stwierdzić, że obliczenia nie wykazały istotnego wpływu przewidywanych zmian klimatycznych na zmiany stężeń analizowanych wskaźników jakości wody. Relatywnie największych zmian w przekroju ujęcia w Wieliszewie należy oczekiwać w przypadku amoniaku i chlorofilu *a*. Dla pozostałych wskaźników zmienność stężenia w badanym wieloleciu nie przekraczała 1%, natomiast zmiany miesięczne – kilku %. Ponadto stwierdzono występowanie sezonowych zmian. Przeważały wskaźniki, w których większe zmiany stężenia występowały w miesiącach ciepłych.

W przypadku stężenia amoniaku i chlorofilu *a*, dało się zauważyć występowanie korelacji w zmienności tych stężeń w badanym wieloleciu. Wzrostowi stężenia amoniaku towarzyszył spadek stężenia chlorofilu *a* i na odwrót. Zmniejszenie się ilości glonów w okresie letnim powodowało wzrost stężenia amoniaku, wykorzystywanego przez glony w procesie fotosyntezy. Zmiany stężenia amoniaku występowały od maja do września i przyjmowały względnie duże wartości procentowe. Zachodziły jednak w miesiącach, w których stężenia amoniaku były najniższe podczas całego roku i nie przekraczały wartości granicznych dla A1, czyli dla wód wymagających tylko prostego uzdatniania fizycznego. W związku z tym zmiany te można uznać za mało istotne, niemogące zagrażać jakości wód pobieranych na ujęciu w Wieliszewie.

Na podstawie zmienności stężenia chlorofilu *a* można było natomiast sformułować dwa zasadnicze wnioski dotyczące przewidywanych zmian klimatycznych na rozwój glonów w przekroju ujęcia wody w Wieliszewie. We wszystkich analizowanych scenariuszach zmian klimatycznych stwierdzono zwiększanie się ilości glonów na początku okresu wegetacyjnego (tj. w kwietniu – maju), a następnie zmniejszenie się ich ilości w okresie letnim (w czerwcu – wrześniu). Tendencja ta zaznaczała się najwyraźniej w przypadku scenariusza B1, w którym stwierdzono również nieznacznie liczniejsze pojawianie się wysokich stężeń chlorofilu *a*.

W przypadku stężenia amoniaku i chlorofilu *a* dało się zauważyć także odmienny wpływ scenariuszy wskaźników zmian klimatycznych na zmiany ich stężeń. Według scenariusza B1 uzyskano największy spadek stężenia glonów przy niewielkiej tendencji wzrostowej stężenia amoniaku.

Analiza miesięcznej i rocznej temperatury wody wykazała, że obliczone wartości charakteryzowały się niewielką zmiennością. W żadnym z rozpatrywanych scenariuszy nie zaobserwowano przekroczenia wartości granicznych (zalecanych

dla kategorii A1, A2 i A3) 22%. W miesiącach ciepłych, o największym ryzyku przekroczenia tej temperatury trendy zmian były niższe niż w miesiącach zimnych. W przypadku scenariusza A1B występowała ogólna tendencja wzrostu temperatury, natomiast w przypadku pozostałych scenariuszy A2 i B1 stwierdzono trendy spadkowe.

W przypadku wskaźnika nasycenia tlenem (%), analiza wskazała, że we wszystkich scenariuszach zmian klimatycznych uzyskano niewielką zmienność stężenia tego wskaźnika. W okresie chłodnym (od października do maja) przeważały wzrosty, a w okresie ciepłym (od czerwca do września) – spadki. Oznaczało to, że w okresie chłodnym o najniższym nasyceniu tlenem warunki jakościowe wody ulegają nieznacznemu polepszeniu, a w okresie ciepłym – pogorszeniu.

W przypadku pozostałych rozpatrywanych wskaźników, tj.: BZT<sub>5</sub>, azotanów i fosforanów przeprowadzone obliczenia nie wykazały istotnego wpływu przewidywanych zmian klimatycznych na zmiany stężeń tych parametrów. Zakres zmian w ujęciu miesięcznym był nie większy niż kilka %, a w ujęciu rocznym nie przekraczał 1%.

## **Systemy wczesnego ostrzegania w ochronie ujęć wody**

*Lidia Gutowska-Siwiec*

Systemy zaopatrzenia w wodę i żywność, zgodnie z określeniem przyjętym w ustawie z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym [Ustawa... 2007], należą do infrastruktury krytycznej, niezbędnej do funkcjonowania gospodarki i państwa oraz zapewnienia bezpieczeństwa jego obywateli. W wyniku zdarzeń spowodowanych siłami natury lub antropopresją, infrastruktura krytyczna może zostać zniszczona lub uszkodzona, a jej działanie ulec zakłóceniu, co w konsekwencji stwarza ryzyko dla zdrowia i życia ludzi.

Zmiany klimatyczne mogą mieć istotny wpływ na systemy zaopatrzenia w wodę z uwagi na stan jakościowy ujmowanej wody i to zarówno ze względu na możliwość zmniejszenia stopnia rozcieńczenia zanieczyszczeń w okresach suchych, jak i zwiększenia spływów powierzchniowych na skutek intensywnych opadów.

Przeprowadzona w ramach prac ocena schematów technologicznych stacji uzdatniania wody wykazała, że każda z nich jest projektowana w taki sposób, aby sprostać wymaganiom stawianym przez normy, przy czym zakres uzdatniania jest ustalany na podstawie badań stopnia zanieczyszczenia wody surowej. Zanieczyszczenia incydentalne, pojawiające się losowo, z przesłanek ekonomicznych, nie są uwzględniane, a tym samym, w przypadku ich nagłego wystąpienia, nie są usuwane. W takiej sytuacji powstaje ryzyko, że ujmowana woda nie będzie uzdatniona w wymaganym zakresie i nie powinna służyć do zaopatrzenia ludności. Istotne znaczenie ma tu zakres i szybkość podania informacji o zmianie jakości wody.

W ramach projektu KLIMAT przeprowadzono prace dotyczące udoskonalania systemów automatycznego monitorowania wód i systemów ostrzegania przed nagłym pogorszeniem się jakości wody. W wyniku tych prac stwierdzono przede wszystkim, że systemy automatycznego monitorowania i ostrzegania powinny być stosowane jako jeden ze sposobów zapewnienia prawidłowego funkcjonowania systemów zaopatrzenia ludności w wodę, szczególnie ochrony ujęć przed skutkami niespodziewanych dopływów wód silnie zanieczyszczonych. Ponadto sformułowano szereg wniosków dotyczących zarówno konstrukcji, funkcjonowania, jak i niezawodności systemów wczesnego ostrzegania.

Najważniejsze z wniosków przedstawiono poniżej:

- a. System wczesnego ostrzegania powinien stanowić sieć różnorodnych elementów, połączonych w strukturę funkcjonalną, zaprojektowaną i zrealizowaną w celu informowania i ostrzegania o zbliżających się (bądź występujących nagle) zanieczyszczeniach w cieku oraz o konieczności podjęcia działań mających przeciwdziałać skutkom wywołanym przez te zanieczyszczenia. System wczesnego ostrzegania powinien składać się z:
  - systemu pomiarowego – do monitoringu zanieczyszczeń,
  - systemu gromadzenia i transmisji danych,
  - systemu przetwarzania i prezentacji danych,
  - systemu ostrzegania (mechanizmy i procedury).
- b. Podstawowa funkcja systemu wczesnego ostrzegania to wykrywanie zanieczyszczeń chemicznych, mikrobiologicznych lub radioaktywnych występujących w wodzie, za pomocą sensorów mierzących wskaźniki jakości wody z określoną częstotliwością, przy założonej dokładności oraz powyżej przyjętych progów wykrywalności, a także ostrzeganie (alarmowanie) instytucji wodnogospodarczych i użytkowników zlewni o przekroczeniu założonych wartości progowych, z wyprzedzeniem pozwalającym na podjęcie odpowiednich decyzji i działań ograniczających lub pozwalających na uniknięcie niekorzystnych skutków wystąpienia zanieczyszczenia.
- c. Prawidłowo zaprojektowany, wykonany i wdrożony system wczesnego ostrzegania, poza głównymi funkcjami, powinien przez ciągłe i długotrwałe działanie ułatwiać dostęp do informacji o środowisku i umożliwiać identyfikację głównych zanieczyszczeń występujących w danym cieku, a także zwiększać skuteczność mechanizmów zmuszających użytkowników zlewni do przestrzegania wymagań dotyczących ilości i jakości zrzucanych ścieków. Poza tym ciągły monitoring powinien być efektywnym narzędziem do określania zarówno krótko-, jak i długoterminowych trendów oraz pozwalać na ustalenie korelacji między pomiarami ciągłymi i manualnymi w celu zmniejszenia liczby kosztownych analiz laboratoryjnych.
- d. Zagrożeniem dla ujęcia wody jest nie tylko awaryjne uwolnienie substancji chemicznych do wód powodujące ich skażenie, lecz także inne źródła negatywnie oddziałujące na jakość wód powierzchniowych i warunki życia ludzi. Gospodarka ściekowa, w tym komunalna i zanieczyszczenia obszarowe to główne źródła antropogeniczne wpływające na jakość wód, które w przypadku ekstremalnych zjawisk pogodowych mogą poważnie zagrażać zanieczyszczeniem. W pracach wykazano, że w ochronie ujęć wody istotne jest stosowanie systemu do pomiarów ciągłych w celu śledzenia dynamiki zmian jakości wody w zlewni. Najważniejsze jest monitorowanie miejsc poboru wody i zrzutów punktowych w bliskiej odległości powyżej ujęcia w czasie rzeczywistym (wymaga tego operacyjne zarządzanie zaopatrzeniem w wodę i system ostrzegania).

- e. Podstawą systemu wczesnego ostrzeżenia dla ujęć wody powinny być automatyczne stacje pomiarowe, których liczba w systemie i rozmieszczenie są zależne od gospodarczego wykorzystania zlewni. Należy brać pod uwagę również to, że na kształtowanie się poziomu stężenia zanieczyszczeń w rzekach ma wpływ szereg czynników, takich jak: ilość uwalnianej substancji, stopień jej zachowawczości (stopień utraty masy w trakcie przepływu), wielkość natężenia przepływu w rzece oraz dyspersja podłużna zanieczyszczeń.
- f. Monitoring jakości wód może być prowadzony zarówno w nurcie rzeki, jak i w stacji naziemnej z doprowadzeniem wody z ujęcia systemem lewarowym lub za pomocą pomp zatopionych. Wyposażenie każdej stacji powinno składać się z: czujników, rejestratora (komputera), zasilania i systemu komunikacyjnego.
- g. Czujniki pomiarowe powinny mierzyć co najmniej podstawowe wskaźniki jakości wody, za które praktycznie w każdej stacji uważa się: poziom wody, temperaturę, przewodność elektryczną, tlen rozpuszczony, pH i mętność. Analizatory automatyczne znajdujące się w pomieszczeniach stacji mogą dokonywać pomiarów parametrów wody, takich jak: fosforany, azot amonowy, azot azotanowy, absorbancja UV-254 nm, chlorofil, oleje rozpuszczone. Oprócz wymienionych wskaźników, w sposób automatyczny można oznaczyć metale ciężkie (rtęć, kadm, ołów, miedź, chrom, nikiel i cynk), niekiedy kilka z nich równocześnie (miedź, cynk, ołów, kadm, chrom), a także glin, cyjanki, fluor, chlorki, siarczany, chlorofil, żelazo i barwę [Berg 2007].
- h. Zestaw aparatury, stanowiącej wyposażenie stacji osłonowych zależy od tego, jakie zanieczyszczenia mogą pojawić się w ujmowanej wodzie, a także od szybkości zmian stężenia określonych wskaźników jakości. Konieczny zakres pomiarów ustala się każdorazowo na podstawie szczegółowej analizy wyników istniejących badań, a także z uwzględnieniem stanu i charakteru gospodarczego wykorzystania zlewni rzeki, powyżej ujęcia wody.
- i. Aparatura do automatycznych analiz nie daje możliwości wykonywania wszystkich oznaczeń wymaganych przepisami, nawet jeśli stacja jest wyposażona w nowoczesne urządzenia pomiarowe. Dlatego oprócz aparatów wykonujących analizy na miejscu, tj. w stacji osłonowej, obiekty te powinny być wyposażone w urządzenia do automatycznego poboru próbek wody w określonych przedziałach czasu. Mogą być one przechowywane (w odpowiedniej temperaturze i przez określony czas), a następnie przekazywane do laboratorium w celu wykonania określonych oznaczeń.
- j. Transmisja informacji ze stacji osłonowej do stacji uzdatniania wody i do innych miejsc powinna być prowadzona z zastosowaniem telefonii komórkowej (przy braku zasięgu może być również stosowany przesył radiowy lub kablowy). Przesyłanie danych umożliwia bieżącą ocenę poprawności pracy aparatury oraz umożliwia szybką reakcję obsługi stacji w przypadku nagłego pogorszenia się jakości ujmowanej wody.

- k. Miejscem przechowywania danych pomiarowych pochodzących ze stacji powinny być systemy baz danych. Wprowadzanie danych może się odbywać zarówno automatycznie – przez modem, jak i manualnie. Wielozadaniowa baza danych jest narzędziem do zbierania i zarządzania danymi w postaci serii czasowych. Głównym zadaniem tego narzędzia jest transformowanie różnych typów surowych danych w informację. Proces transformacji obejmuje oprogramowanie sensorów (czujników) oraz integrację z zewnętrznymi modelami kompleksowego i podstawowego obliczania. Ponadto aplikacja takiego narzędzia działa jako obsługa źródła danych dla innych komponentów (modele czy inne systemy w czasie rzeczywistym), przez co zabezpieczone musi być szereg funkcji, takich jak: integracja systemu, pozyskiwanie, walidacja i przechowywanie danych, agregacja danych, prezentacja danych, raportowanie, wspomaganie decyzji, sterowanie.
- l. Przy projektowaniu systemu wczesnego ostrzegania należy każdorazowo uwzględniać najnowocześniejsze technologie komputerowe i najnowsze wersje oprogramowania narzędziowego, przy czym przewidywany sprzęt komputerowy i system operacyjny powinien składać się z serwera i średniej lub wysokiej klasy komputera PC. Dotychczas najczęściej stosowany był system „klient/serwer” pracujący w środowisku Windows, przy założeniu, że jest skonfigurowany do pracy z pojedynczym komputerem lub pracuje w sieci wielu użytkowników z możliwością edytowania raportów na odległość za pomocą internetu [Gromiec, Gutowska-Siwiec 2008].

Analizy przeprowadzone w trakcie prac analizy wykazały ponadto, że zwiększenie częstotliwości zjawisk ekstremalnych (powódź, susza) może prowadzić do częstszego występowania nadzwyczajnych zagrożeń dla ujęć wody, skutkujących koniecznością ich zamykania i podejmowania działań naprawczych [Gutowska-Siwiec i in. 2009].

Konieczne jest zatem przyjęcie hierarchizacji działań, a odnośną propozycję przedstawiono na rys. 1.

Informacje o zagrożeniu mogą pochodzić z dwóch niezależnych systemów ostrzegania. Pierwszy z nich tworzą automatyczne stacje pomiaru wody (on-line), w których sygnał alarmowy jest generowany po wykryciu przez urządzenia pomiarowe zainstalowane na stacjach wielkości wyższych od zadanych w systemie wartości granicznych. Drugi system obejmuje szereg instytucji na poziomie regionalnym bądź centralnym (policja wodna, organizacje ekologiczne, służby pomiarowe, polski związek wędkarski), które z racji pełnienia swoich obowiązków w zlewni rzecznej mogą zauważyć zdarzenie i informację o nim przekazać do ośrodka nadzorującego system. Takie działanie umożliwia lokalizację miejsca wystąpienia zdarzenia i określenie czasu, w jakim zanieczyszczenie przeniesie się w rejon ujęcia wody.

Realizacja systemu mechanizmów i procedur związanych z funkcjonowaniem systemu ostrzegania na podstawie otrzymanych sygnałów należy do obowiązków

ośrodka nadzorującego system. Odpowiada on również za szereg funkcji związanych z bezpośrednim działaniem systemu, takich jak:

- zbieranie danych ze stacji pomiarowych przez połączenia sieciowe,
- zbieranie danych pomiarowych z laboratoriów własnych lub z innych ośrodków,
- zdalna ocena pracy stacji pomiarowej,
- zdalne sterowanie pracą pompy i zaworów dozujących próbki do pomiarów laboratoryjnych,
- archiwizacja i obróbka wprowadzanych danych pomiarowych,
- edycja raportów.



Rys. 1. System mechanizmów związanych z funkcjonowaniem systemu ostrzegania

Każdy system wczesnego ostrzegania powinien mieć określony, generowany przez siebie system poziomów alarmowych, odnoszący się do stanów kiedy:

- wartości parametrów/wskaźników badanych przez stacje pomiarowe są typowe,
- wartości parametrów/wskaźników badanych przez stacje nie są typowe i istnieje podejrzenie, że powstała sytuacja zagrożenia,
- wartości parametrów/wskaźników badanych przez stacje są znacznie większe bądź znacznie mniejsze od typowych i istnieje duże prawdopodobieństwo, że powstała sytuacja zagrożenia.

W przypadku pierwszego z wymienionych poziomów stacje pomiarowe pracują w normalnym trybie, czyli monitorują stan i jakość wody przez cały czas.

W przypadku dwóch pozostałych poziomów stacje powinny pracować w trybie wzmożonej aktywności, który różni się od normalnego zwiększoną: liczbą badanych wskaźników, częstotliwością próbkowania niektórych lub wszystkich wskaźników, a także częstotliwością pobierania próbek wody do analiz w laboratorium. Tryb wzmożonej aktywności powinien mieć pierwszeństwo nad trybem normalnym.

W przypadku systemu wczesnego ostrzegania składającego się ze stacji osłonowych w górze rzeki, w pobliżu ujęcia i na ujęciu można mówić o dwustopniowym wykrywaniu płynących zanieczyszczeń. Wstępna identyfikacja jest wykonywana na stacjach w górze rzeki, a wykrycie zbyt dużych lub zbyt małych wartości określonych wskaźników jest sygnałem dla systemu, że stacje zlokalizowane poniżej powinny być przełączone na tryb wzmożonej aktywności w celu potwierdzenia sytuacji zagrożenia. Przełączenie odpowiednich stacji powinno być dokonywane z opóźnieniem uwzględniającym czas spływu między odpowiednimi stacjami.

W ramach prac określono również potrzeby i możliwości udoskonalania systemów monitorowania i wczesnego ostrzegania.

Stwierdzono, że oferta dostawców wyposażenia systemów zarówno w urządzenia, jak i wyposażenie oraz narzędzia komputerowe jest bardzo bogata i wymaga wyboru z uwzględnieniem przede wszystkim warunków funkcjonowania systemu (w szczególności stacji osłonowych). Odnotowywany ciągły postęp w tej dziedzinie stwarza duże możliwości.

Ocena niezawodności systemu ostrzegania wykazała, że w znacznym stopniu jest ona uzależniona od niezawodności samego monitoringu jakości wody. Warunki, jakie muszą być stworzone na potrzeby monitoringu prowadzonego w nurcie rzeki i w stacjach naziemnych, są nieco odmienne ale w obu przypadkach bardzo istotne.

Stwierdzono, że poza wygenerowaniem ostrzeżenia umożliwiającego wprowadzenie zmian technologicznych w procesie uzdatniania wody bądź okresowego wyłączenia ujęcia, system wczesnego ostrzegania powinien dostarczać dane pomiarowe dla długoterminowej ochrony. Długoterminowa ochrona jakości źródeł wody powinna być prowadzona z wykorzystaniem modelu określającego dyspersję/rozkład możliwych niebezpiecznych związków w celu prognozowania ich stężenia na ujęciu wody.

Z przeglądu i analizy systemów ostrzegania eksploatowanych dotychczas przez stacje ujęć wody przeznaczonej do spożycia wynikało, że składają się zazwyczaj z pojedynczych stacji osłonowych, zapewniających natychmiastowe działanie w przypadku wystąpienia zagrożenia (zamykanie ujęcia). Doświadczenia na stacji uzdatniania wody udowodniły, że niezbędne do ich właściwej pracy jest udoskonalanie istniejących rozwiązań i oparcie systemu wczesnego ostrzegania na większej liczbie i lepiej wyposażonych stacjach pomiarowych, odpowiednio rozmieszczonych w zlewni i dających informacje o zagrożeniu ujęcia z kilkudobowym wyprzedzeniem.

Konieczne jest też udoskonalanie istniejących stacji osłonowych przez zastosowanie automatycznych pomiarów jakości wody, a w szczególności instalowanie



zestawów do mierzenia szerszego zakresu wskaźników. Jak wykazały analizy, wiąże się z to z koniecznością ścisłego przestrzegania pewnych zasad:

- Przede wszystkim monitoring on-line powinien być właściwie eksploatowany, by dawał możliwość oceny podstawowych parametrów jakości wody surowej w systemie ciągłym, a tym samym możliwość obserwacji trendów zmian, czyli dynamiki zachodzących procesów. Jeśli chodzi o właściwą pracę stacji uzdatniania wody, to jest to szczególnie istotne na drugiej i trzeciej zmianie oraz w dni wolne od pracy, gdy badania laboratoryjne nie są wykonywane. Wówczas jedynym systemem ostrzegania o niekorzystnych zmianach jakości wody surowej jest monitoring on-line i biomonitring. Badania laboratoryjne mają głównie za zadanie prowadzenie monitoringu zgodnie z *rozporządzeniem Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi* [Rozporządzenie... 2007] Oba te systemy badań nie wykluczają się, lecz wzajemnie uzupełniają.
- Każdy system monitoringu on-line powinien być zlokalizowany w takim miejscu, aby rejestrować parametry jakości wody powierzchniowej z ok. dwudobowym wyprzedzeniem. Pozwala to na podjęcie niezbędnych działań i na dostosowanie układu technologicznego do zmieniających się warunków, co jest szczególnie istotne w przypadku występowania dużej zmienności jakości wody w ciągu roku oraz wysokiej zawartości trudno usuwalnych związków organicznych sprawiających, że w niektórych okresach roku uzdatnianie wód powierzchniowych jest wyjątkowo trudne.
- Istotne jest, aby dobór czujników stosowanych w pomiarach automatycznych pozwalał na rzeczywistą ocenę sytuacji, gdyż w przeciwnym razie może zaistnieć sytuacja, w której ani monitoring on-line, ani biomonitring nie wygenerują odpowiedniego ostrzeżenia pozwalającego na działania zabezpieczające.
- Jakość wody przeznaczonej do spożycia zależy nie tylko od składu ilościowego i jakościowego zanieczyszczeń chemicznych, lecz także od obecności drobnoustrojów [Zamorska, Rak 2003]. Bakterie, wirusy i inne mikroorganizmy są szeroko rozpowszechnione w środowisku wodnym, a niektóre z nich mogą wywoływać poważne problemy zdrowotne. Możliwość zakażenia ludzi zmusza do stałej kontroli wody przeznaczonej do spożycia, a także w zbiornikach wodnych mających znaczenie rekreacyjne. W ostatnich latach należy odnotować wzrost zaniepokojenia ludności w związku z możliwością zastosowania drobnoustrojów chorobotwórczych i innych czynników biologicznych w atakach terrorystycznych [Heijnen, Medera 2009]. W celu skutecznej ochrony jakości wód w tym zakresie należy dysponować możliwością wykonania analiz w krótkim czasie. Zagadnienie to nabiera również znaczenia w związku z propozycją WHO związaną z obowiązkiem wdrażania planów bezpieczeństwa wody.
- Ze względu na ograniczoną przydatność (koszt i czasochłonność) klasycznych metod wykrywania skażeń chemicznych i mikrobiologicznych wody, należy zwrócić uwagę na stosowanie w monitoringu czujników biologicznych

(biocujników, biosensorów), których zaletą jest wysoka czułość i selektywność, znikoma podatność na zakłócenia, a także miniaturowe rozmiary [Koźłan 2009]. Biosensor jest złożony z :

- biologicznego systemu rozpoznawania ,
- przetwornika przekształcającego zjawiska biologiczne na sygnały elektryczne, zapewniającego elektroniczną rejestrację uzyskanych danych.

Tego typu konstrukcje umożliwiają szybkie, czułe i precyzyjne wykrycie nie tylko małych ilości związków chemicznych, lecz także niebezpiecznych mikroorganizmów czy toksyn. Do stałego monitorowania jakości wody, a w szczególności wody przeznaczonej do spożycia można stosować zarówno biosensory specyficzne, służące do oznaczania wybranej substancji chemicznej, jak i szeroko zakresowe, zdolne do wykrywania ogólnych zmian chemicznych.

Podsumowując, analizy przeprowadzone w ramach prac analizy wykazały, że dopływ do ujęcia wód obciążonych nadzwyczajnymi zanieczyszczeniami może być spowodowany nie tylko awariami przemysłowymi, lecz także występującymi coraz częściej anomaliami pogodowymi.

System wczesnego ostrzegania stwarza możliwość przedsięwzięcia odpowiednich środków, pozwalających uchronić i ludzi i urządzenia przed skutkami katastrofy ekologicznej. Sygnał alarmowy ze stacji osłonowych służy zaostrzeniu kontroli wody ujmowanej bezpośrednio na ujęciu oraz dostosowaniu procesów technologicznych z odpowiednim wyprzedzeniem do pogarszającej się jakości wody w źródle z odpowiednim wyprzedzeniem.

Zmiany klimatyczne, degradacja środowiska naturalnego, a także obawa przed zagrożeniem atakiem terrorystycznym stawiają przed systemami wczesnego ostrzegania nowe wymagania, które trudno spełnić w oparciu na dotychczas badanych podstawowych wskaźnikach jakości wody.

Konieczność sprostania wymaganiom nie tylko monitoringu jakości wody przeznaczonej do spożycia, lecz także potrzebom wynikającym z wdrożenia systemów oceny ryzyka w ramach planów bezpieczeństwa wody prowadzi do wzrastającego zainteresowania nowymi metodami analizy wody i stosowania nowych technik pomiarowych.

Analizy wykazały, że system wczesnego ostrzegania powinien nie tylko służyć do identyfikacji niekorzystnych skutków pojawiania się substancji chemicznych w sytuacjach awaryjnych zagrażających jakości wody, lecz także w warunkach zagrożenia dawać czas na możliwość zmiany technologii lub zamknięcia ujęcia do chwili wdrożenia działań naprawczych i uzyskania poprawy sytuacji.

Aby system ten stał się niezawodną częścią systemu zarządzania musi przede wszystkim zapewnić natychmiastową reakcję na wystarczająco szeroki zakres potencjalnych zanieczyszczeń. Wiąże się to ze znaczącą automatyzacją systemu i odpowiednią jego czułością na zanieczyszczenia. Ważne jest również, aby obsługa systemów nie wymagała dużych umiejętności i długotrwałych szkoleń. Działania naprawcze i środki zaradcze można podejmować gdy właściwie zostaną zidentyfikowane zarówno źródła zanieczyszczenia, jak i stężenie związków z nich uwal-

nianych. Musi więc być zapewniony łatwy dostęp do systemu, dający możliwość jego szybkiego sprawdzenia i weryfikacji. Ponadto systemy powinny mieć takie zalety, jak:

- odporność i stabilność w czasie pracy;
- możliwość zdalnego kierowania i obsługi;
- ciągłe (bez przerw) funkcjonowanie.

Z pewnością o szerokim stosowaniu systemów wczesnego ostrzegania można będzie mówić wówczas, gdy ich koszty zarówno inwestycyjne, jak i niezbędne do utrzymania w ruchu, nie będą zbyt wysokie.

# **Wnioski dla zarządzania systemami zaopatrzenia w wodę – podsumowanie wyników prac**

*Lidia Gutowska-Siwiec*

## **1. Zaopatrzenie ludności w wodę w świetle przepisów Unii Europejskiej**

Ramowa Dyrektywa Wodna zakłada osiągnięcie dobrego stanu wód powierzchniowych i podziemnych do roku 2015, a gospodarowanie zasobami wodnymi opiera na zlewniach rzecznych. Zasoby przeznaczone do wykorzystania jako wody do spożycia są przedmiotem szczególnej ochrony. Państwa członkowskie Unii Europejskiej muszą przyjąć odpowiednie standardy jakości środowiska wodnego dla wód służących do poboru wody do spożycia tak, aby po zastosowaniu technologii uzdatniania woda spełniała odpowiednie wymagania zgodnie z prawodawstwem Unii Europejskiej. W celu osiągnięcia tego ogólnego celu niezbędne jest wzięcie pod uwagę tego, że podstawą zarządzania jakością wód jest monitoring, bez którego nie tylko programy ograniczające zanieczyszczenie wód nie dają pełnych efektów, lecz także nie będzie możliwości podjęcia właściwych środków zaradczych i adaptacyjnych w przypadku, gdy zmiany klimatyczne wpłyną na stan jakościowy zasobów wód powierzchniowych. Dyrektywa Rady 98/83/WE z 1998 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi zobowiązuje Komisję Europejską do weryfikacji zapisów co 5 lat, ze względu na postęp naukowo-techniczny i zmiany środowiskowe zachodzące w świecie. Od 2007 r. Komisja Europejska prowadzi weryfikację wskaźników fizyczno-chemicznych i mikrobiologicznych, a także analizę możliwości wdrożenia systemów oceny zagrożeń i zarządzania ryzykiem. Światowa Organizacja Zdrowia złożyła propozycję dotyczącą wpisania do Dyrektywy 98/83/WE obowiązku wdrożenia tzw. planów bezpieczeństwa wody. Zakładają one monitoring jakości źródła wody i monitoring jej dystrybucji od ujęcia aż do konsumenta, a w ramach systemu zaopatrzenia w wodę – określenie zagrożeń zależnych między innymi od wpływu zmian klimatu [Szatkiwicz 2009].

Wpływ zmian klimatycznych dotyczy zarówno czynników zewnętrznych, takich jak: zmniejszenie stopnia rozcieńczenia zanieczyszczeń czy też zwiększanie

sptywów powierzchniowych na skutek intensywniejszych opadów, jak i czynników wewnętrznych polegających na wystąpieniu zmian w przebiegu procesów transportu i transformacji zanieczyszczeń w środowisku wodnym.

## **2. Podsumowanie wyników prac i kierunki ich wykorzystania**

W przeprowadzonych pracach przeanalizowano wpływ zmian klimatycznych w zakresie czynników wewnętrznych na zmiany jakości wody oraz możliwości zabezpieczenia ujęć wody do picia w przypadku wystąpienia ich zagrożenia spowodowanego zmianami klimatycznymi w zakresie czynników zewnętrznych.

Oceniono wpływ zmian klimatycznych na kształtowanie się elementów bilansu cieplnego (temperatura wody) oraz przebieg cyklu rozwojowego glonów.

Obliczenia nie wykazały istotnego wpływu przewidywanych zmian na temperaturę wód w rozpatrywanym obiekcie badawczym. Obliczona zmienność temperatury wody miała charakter zróżnicowany w zależności od rozpatrywanego scenariusza zmian klimatycznych. W przypadku A1B występowała ogólna tendencja wzrostu temperatury, natomiast w przypadku pozostałych scenariuszy widoczne były tendencje spadkowe o różnym stopniu nasilenia (silniejsza dla B1, słabsza dla A2).

Analogicznie wyglądała sytuacja w przypadku analizy wpływu przewidywanych zmian klimatycznych na zmienność stężenia chlorofilu *a*. Rozpatrywano zmiany zawartości chlorofilu *a* będące wynikiem zmian zachodzących w przebiegu procesów fotosyntezy, respiracji i wzrostu glonów. Przeprowadzone obliczenia wykazały ogólną tendencję do spadku ilości tlenu dostarczanego na skutek procesów fotosyntezy, do wód na odcinkach obliczeniowych w rozpatrywanym okresie wieloletnim 2010–2030. Ilościowo tendencja ta jest najwyraźniejsza w przypadku scenariusza B1. Wyniki obliczeń wskazały również na ogólną tendencję do spadku ilości tlenu zużywanego na skutek procesu respiracji, a także ilości azotu amonowego i fosforanów uwalnianych w tym procesie w wodach odcinków obliczeniowych w rozpatrywanym okresie. Ilościowo tendencja ta jest najwyraźniejsza w przypadku scenariusza B1.

Ocenę wpływu zmian klimatycznych na jakość wody pobieranej do zaopatrzenia miast przeprowadzono na przykładzie ujęcia w Wieliszewie na Zalewie Zegrzyńskim. Stan jakościowy wód, scharakteryzowany został następującym zestawem parametrów: temperatura wody, % tlenu rozpuszczonego, BZT<sub>5</sub>, glony jako chlorofil *a*, azotany, amoniak i fosforany.

Wyniki prac wykazały, że relatywnie największe zmiany zachodziły w przypadku amoniaku i chlorofilu *a*. Dla pozostałych wskaźników zmienność stężeń w przeciągu badanego wielolecia nie przekraczała kilku procent. Ponadto zaobserwowano występowanie sezonowości zmian. W przypadku większości analizowanych wskaźników zmienność stężeń była większa w miesiącach ciepłych.

Na podstawie analizy zmienności stężeń chlorofilu *a* można wyciągnąć dwa zasadnicze, jak się wydaje, wnioski dotyczące wpływu przewidywanych zmian

klimatycznych na rozwój glonów na ujęciu w Wieliszewie: zwiększenie ilości glonów w początkowym okresie wegetacyjnym (kwiecień – maj), a następnie zmniejszenie się ilości glonów w okresie letnim (czerwiec – wrzesień). Tendencja ta była najwyraźniejsza w przypadku scenariusza B1.

Podsumowując należy stwierdzić, że przeprowadzone obliczenia nie wykazały istotnego wpływu przewidywanych zmian klimatycznych na zmiany analizowanych parametrów jakości wody na ujęciu w Wieliszewie. Nie zmienia to jednak faktu, że wymagania jakościowe stawiane wodzie do spożycia są coraz wyższe, a zmienność charakterystyki wody ujmowanej ma zasadniczy wpływ na możliwość i koszt ich uzyskania przez zakłady wodociągowe. Stąd konieczność szybkiego i niezawodnego monitoringu jakości ujmowanej wody szczególnie na potrzeby zakładów wodociągowych zasilanych wodami powierzchniowymi.

Aby zagwarantować bezpieczne zaopatrzenie ludności w wodę należy zwrócić szczególną uwagę na ostrzeżenie ujęć stacji wodociągowych przed zanieczyszczeniami nagłymi, pojawiającymi się incydentalnie, w tym wywołanymi również przez zmiany klimatyczne.

Jak wykazały prace przeprowadzone w projekcie jednym ze sposobów ochrony ujęć przed skutkami niespodziewanych dopływów wód silnie zanieczyszczonych są systemy automatycznego monitorowania i ostrzegania, działające w oparciu na tak zwanych stacjach osłonowych. Systemy te powinny realizować szereg zadań, takich jak: prowadzenie ciągłego monitoringu stanu i jakości wody, automatyczna identyfikacja stanów jakości wody (alarmowanie), automatyczne określenie działań, jakie należy podjąć w wyniku wystąpienia określonych stanów progowych (granicznych) wprowadzanych do systemu oraz generowanie prognozy jakości wody w wymaganych miejscach. Oczywiście system zaprojektowany dla każdego ujęcia będzie różnił się nie tylko źródłem z którego ujmowana jest woda czy liczbą wchodzących w jego skład stacji osłonowych, niezbędnych ze względu na gospodarce wykorzystanie zlewni, lecz także konstrukcją stacji, liczbą czujników, a tym samym mierzonych parametrów i liczbą centrów komputerowych – zależną od przyjętej struktury organizacyjnej w danej zlewni.

Ponadto konieczność sprostania wymaganiom monitoringu jakości wody przeznaczonej do spożycia będzie wymagać szerszego wprowadzenia nowych metod analizy jakości wody. Duże możliwości daje rozwój metod, których narzędziami analitycznymi są czujniki biologiczne. Bezwzględnie mogą one być istotnym narzędziem do wdrażania systemów oceny ryzyka w ramach planów bezpieczeństwa wody.

Przedstawione w publikacji zagadnienia dotyczące systemów wczesnego ostrzegania przed nadzwyczajnymi zagrożeniami dla ujęć wody obejmują wnioski ogólne. Realizacja prac w ramach projektu KLIMAT pozwoliła autorom również na zdobycie doświadczeń umożliwiających przygotowywanie procedur tworzenia systemu wczesnego ostrzegania dla ujęć wody do spożycia dla różnych użytkowników. Procedury dotyczą:

- technik monitoringu ciągłego wód;

- systemów reagowania na zagrożenia;
- systemów planowania awaryjnego.

Istnieje również możliwość dokonywania analiz w aspekcie udoskonalania istniejących systemów pomiarowych w celu pozyskania informacji pozwalających na zabezpieczenie układu technologicznego stacji uzdatniania wody przed niekontrolowaną zmianą jakości wody i uzyskania danych do przystosowania układu technologicznego do nowych warunków.

W ramach podzadania dotyczącego analizy wpływu przewidywanych zmian klimatycznych na przebieg procesów transportu i transformacji zanieczyszczeń w środowisku wodnym prowadzono analizę na podstawie wyników obliczeń symulacyjnych wykonanych za pomocą dwuwymiarowego modelu hydrodynamicznego i jakości wody, CE-QUAL-W2. Doświadczenia zebrane w trakcie prac nad implementacją tego modelu pozwalają na jego efektywne wykorzystanie w obliczeniach różnych aspektów zmian stanu jakościowego wód powierzchniowych, w przypadku stosunkowo długich i wąskich akwenów wykazujących podłużne i pionowe gradienty jakości wody (duże rzeki, zbiorniki zaporowe).

#### Literatura

- Adamski W., 2002, Modelowanie systemów oczyszczania wód, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
- Berg A., 2007, Systemy wczesnego ostrzegania przed zanieczyszczeniem dla ujęć wody, w: Ochrona ujęć wody przed zanieczyszczeniem. Poprawa jakości wody dla Warszawy, Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w m.st. Warszawie S.A., Warszawa
- Cole T.M., Wells S.A., 2008, CE-QUAL-W2: A Two – Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Version 3.6. Department of Civil and Environmental Engineering, Portland State University, Portland
- Dojlido J., 1987, Chemia Wody, Arkady, Warszawa
- Gromiec M.J., Gutowska-Siwiec L., 2008, System DIMS i jego zastosowanie w automatycznym monitoringu jakości wód, w: Systemy informacyjne w zlewniowej gospodarce wodnej, M.J. Gromiec (red.), IMGW, Warszawa
- Gutowska-Siwiec L. i in., 2009, Udoskonalanie systemów automatycznego monitoringu i systemów ostrzegania dla wód do zaopatrzenia w wodę, Warszawa, niepubl.
- Heijnen L., Medera G., 2009, Method for rapid detection of viable *Escherichia coli* in water using real – time NASBA, Water research, 43 (2009), 3124-3132
- Hermanowicz W., 1984, Chemia sanitarna, Arkady, Warszawa
- IPCC 2007, Zmiana klimatu 2007: Raport Syntetyczny, 2009, Wkład Grup roboczych I, II, III do Czwartego Raportu Oceniającego Międzynarodowego Zespołu ds. Zmian Klimatu [(red.) Główny zespół autorski, Pachauri R. K. i Reisinger A.J. Wyd. IOŚ, Warszawa.
- Jorgensen S.E, 1983, Mathematical Modeling of Water Quality in Lakes and Reservoirs – Ecological Modeling of Lakes. (red.) G.T. Orlob, Wiley Interscience, New York
- Koźłwan B., 2009, Zastosowanie czujników biologicznych (biosensorów) do oceny jakości wody. Ochrona Środowiska, 4/2009
- Pawlaczyk-Szpilowa M., 1970, Biologia Sanitarna, cz.1, Mikrobiologia Ogólna, Politechnika Wroclawska, Wrocław

- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 r. 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 Zdrowia w sprawie jakości wód przeznaczonych do spożycia z dnia 29 marca 2007 r. (Dz. U. Nr 61, poz. 417)
- Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych z dnia 20 sierpnia 2008 r. (Dz. U. Nr 162, poz. 1008)
- Szatkiewicz K., Rewizja dyrektywy 98/83/WE w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, dotycząca oceny zagrożeń i zarządzania ryzykiem, Ochrona Środowiska, vol. 31, 3/2009.
- Ślesicki M., Gromiec M. J., 2008, Dwuwymiarowy model hydrodynamiczny i jakości wody wraz z przykładowym zastosowaniem w: Modelowanie matematyczne jakości powierzchniowych wód płynących, praca zb. pod kier. M.J. Gromca, IMGW, Warszawa
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (Dz. U. Nr 89 poz. 590)
- Zamorska J., Rak J., Zagrożenia bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody do spożycia, Gaz Woda i Technika Sanitarna, 10/2003

#### **Podziękowania**

W skład zespołu realizującego zadanie 7 projektu KLIMAT wchodziły ponadto:  
Anna Bożek, Marzenna Strońska, Urszula Szykowska – IMGW-PIB Oddział Wrocław



### **CZĘŚĆ III.**

## **ZAMULENIE POLSKICH ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH. DIAGNOZA STANU I PROPONOWANE PRZECIWDZIAŁANIA**



## Wprowadzenie

*Jerzy Kloze, Edmund Sieński*

Eksploatacja sztucznych zbiorników wodnych jest nierozzerwalnie związana z warunkami klimatycznymi. Lokalizacja tych obiektów na kuli ziemskiej zależy w dużej mierze od tych warunków. Z jednej strony zbiorniki takie są najbardziej potrzebne tam, gdzie opady są skąpe i gdzie występują susze. Z drugiej zaś muszą, przynajmniej w cyklu wieloletnim, istnieć możliwości ich napełnienia i retencjonowania w ten sposób wody. Stwierdzono też wpływ, szczególnie dużych zbiorników, na panujący wokół nich mikroklimat. Wywołują one szereg zmian w środowisku dotyczących m.in. flory, fauny, stosunków wodnych na terenach przyległych, osuwisk i zjawisk abrazyjnych. Jedną z najważniejszych grup zmian środowiskowych są procesy zamulania zbiorników, wynikające z denudacji zlewni i osadzania się w nich rumowiska zarówno unoszonego, jak i wleczonego. Do głównych czynników wpływających na transport materiału erodowanego ze zlewni należą:

- suma i natężenie opadów,
- wielkość powierzchniowego spływu wody.

Czynniki te w sposób bezpośredni są zależne od panujących warunków klimatycznych, a więc i ich zmian „prowadzących do ustalenia się nowego stanu równowagi całego systemu klimatycznego względem stanu wyjściowego”<sup>1</sup>.

Zmiany klimatu mają wpływ na procesy zachodzące w zbiornikach wodnych poprzez:

- wielkość i częstotliwość opadów – wpływa na intensywność denudacji zlewni oraz na gospodarkę wodną na zbiornikach,
- wielkość i częstotliwość wezbrań – wpływa na transport rumowiska w ciekach,
- zmiany temperatury wody w zbiornikach – wpływają na jakość magazynowanej wody oraz gromadzonych osadów.

---

<sup>1</sup> Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo; zmiany skutki i sposoby ich ograniczenia, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego, ulotka informacyjna, IMGW, Warszawa, s. 3.

Duże wielozadaniowe zbiorniki wodne są w Polsce niezbędne. Te, które istnieją, mają niedużą łączną pojemność – niewiele ponad 4% średniego rocznego odpływu polskich rzek. Szacuje się, że pojemność ta powinna wynosić ponad 10%. Zbiorniki retencyjne, służące głównie zaopatrzeniu w wodę, zapewniają również uregulowanie odpływu poniżej nich (w tym niezbędnego przepływu biologicznego) oraz chronią przed powodzią tereny przyległe do rzeki. Umożliwiają produkcję taniej, ekologicznie czystej energii elektrycznej oraz hodowlę ryb, a także tworzą nowe walory krajobrazowe i zwiększają atrakcyjność terenów przyległych do zbiornika (rys. 1).



Rys. 1. Klimkówka – karpacki zbiornik retencyjny (fot. A. Kosik)



Rys. 2. Skutki suszy



Rys. 3. Tresna – Przejście fali powodziowej [Bałus 2007]

Do prowadzenia racjonalnej gospodarki wodnej w regionie jest niezbędna znajomość faktycznych, dyspozycyjnych zasobów wody (co jest szczególnie ważne w okresach występowania suszy (rys. 2)), a także informacji o rezerwie powodziowej – wolnych pojemnościach do wykorzystania w przypadku zagrożenia powodziowego, umożliwiających przechwycenie przynajmniej części fali wezbraniowej (rys. 3).

Te wielkości zależą od pojemności zbiorników retencyjnych zlokalizowanych na danym obszarze. W miarę upływu czasu i eksploatacji – pojemności maleją. Przyczyną jest zjawisko zamulania powodowane denudacją powierzchniową zlewni oraz w znacznie mniejszym stopniu – erozją i abrazją brzegów samych zbiorników. Budowa zapory tworzącej zbiornik wywołuje zakłócenie w procesie transportu rumowiska. Ciągła akumulacja cząstek sedymentujących prowadzi do zmian w rozkładzie osadów, który w dużym stopniu zależy od warunków eksploatacyjnych zbiornika oraz rytmu wezbrań powodziowych. Z tego powodu podczas eksploatacji zbiornika ulegającego zamulaniu, zmiany zasad użytkowania bądź inne działania korygujące często okazują się niezbędne. Proces zamulania jest złożony i nie ma charakteru liniowego. Dla każdego takiego obiektu szczegółowego rozpoznania wymagają takie zagadnienia, jak: intensywność i zmienność w czasie dopływu i akumulacji rumowiska w zbiorniku, miejsca osadzania się materiału akumulowanego, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów cofkowych, struktura, rodzaj i pochodzenie rumowiska. Istotną konsekwencją odkładania się rumowiska w cofce jest wzrost zagrożenia terenów przyległych do zbiornika w okresach wezbrań. Spływanie się rejonu cofki i jej intensywne zarastanie roślinnością jest powodem powstawania zatorów lodowych, czego skutkiem może być podnoszenie się zwierciadła wody powyżej projektowanych krzywych cofkowych, a więc powyżej korony zapór bocznych bądź obwałowań. Takie zjawiska wystąpiły na kilku polskich zbiornikach, co spowodowało przerwanie wałów, a w konsekwencji – znacz-

ne straty materialne. Podnoszenie się i wydłużanie krzywych cofkowych prowadzi również do zmniejszania się bezpiecznych prześwitów między dolnymi krawędziami mostów a zwierciadłem wody oraz podpiętrzeń wód w ujściowych odcinkach dopływów.

Sedymentacja, której skutkiem jest utrata znacznych czynnych pojemności zbiorników wodnych jest ważnym problemem w światowej gospodarce wodnej. Z tego powodu była ona tematem obrad na pięciu Kongresach Międzynarodowej Komisji Wielkich Zapór (ICOLD) w minionych latach, tj. w 1951, 1967, 1979, 1982 i 1997 r., a także zajmowała ważne miejsce na ostatnim XXIII Kongresie. O wadze problemu zamulania zbiorników może świadczyć kilka poniższych danych. Według aktualnej oceny ICOLD całkowita pojemność sztucznych zbiorników wodnych na świecie (w tym tworzonych również przez zapory o wysokości  $< 15$  m) wynosi ok. 7 mld m<sup>3</sup>, z czego 3 mld m<sup>3</sup> stanowi objętość martwa tych zbiorników. Roczna masę osadów niesionych przez rzeki (rumowisko wleczone i unoszone) ocenia się na ok. 24–30 mld ton przy objętościach przepływów ok. 40 tys. km<sup>3</sup>. Uwzględniono zmienną zawartość osadów w przypadku różnych przepływów, przyjęto ich średnią ilość na ok. 0,6–0,7 t/1000 m<sup>3</sup> i oszacowano, że w zbiornikach utworzonych przez zapory eksploatowane 30–40 lat osadza się rocznie ok. 1400 mln m<sup>3</sup>. Najwięcej osadów tworzy się w zbiornikach wykorzystywanych do celów energetycznych. Straty z tego powodu (utrata objętości martwej i czynnej) ocenia się w skali światowej na ok. 10 mld dolarów rocznie. Straty objętości zbiorników wykorzystywanych do nawodnień określa się na 7 mld m<sup>3</sup>. Szczególnie dotkliwie problem ten jest odczuwalny w Indiach i Afryce. W skali światowej straty ocenia się na ok. 3,5 mld dolarów rocznie. W Chinach zbiorniki retencyjne tracą rocznie ok. 800 mln m<sup>3</sup> pojemności. W Japonii straty z tego powodu wynoszą dotychczas ponad 7% całkowitej pojemności zbiorników, a w Hiszpanii – ponad 4%. Oszacowano, że w Pakistanie stracono nawet ok. 20% całkowitej pojemności zbiorników w ciągu zaledwie 22 lat eksploatacji.

W Polsce pod koniec XX w. oceniono orientacyjnie, w oparciu na fragmentarycznych i niesystematycznie prowadzonych pomiarach 26 z ponad 60 istniejących dużych zbiorników, że w czasie dotychczasowej eksploatacji (średnio wynosiła wówczas ok. 55 lat) straciły one ponad 200 mln m<sup>3</sup> pojemności.

Z ilościowym aspektem zamulania zbiorników nierozzerwalnie wiąże się problem zanieczyszczenia osadów dennych i jego wpływu na jakość magazynowanej w tych zbiornikach wody. Ze względu na swoje usytuowanie zbiorniki stanowią naturalny obszar sedymentacji materii organicznej, mineralnej i zanieczyszczeń transportowanych przez rzekę oraz spływających ze zlewni, stąd szybkie tempo ich degradacji. Skład chemiczny osadów zależy przede wszystkim od budowy litologicznej zlewni, morfologii terenu oraz warunków klimatycznych, które decydują o przebiegu procesów wietrzenia, uruchamiania pierwiastków, ich migracji i akumulacji w środowisku. Podwyższona zawartość metali ciężkich i szkodliwych związków organicznych w osadach jest natomiast wynikiem różnorodnej działalności człowieka: funkcjonowania miast, odprowadzania ścieków z produkcji przemysłowej, ze spływu powierzchniowego z terenów użytkowanych rolniczo. Szko-

dliwe oddziaływanie tych związków na organizmy bytujące w wodach, a także pośrednio na człowieka, stanowi ważny problem środowiskowy. W osadach dennych jest zatrzymywana większość potencjalnie szkodliwych metali i związków organicznych trafiających do wód powierzchniowych. Są w nich akumulowane pierwiastki, które mają szerokie zastosowanie w gospodarce, takie jak: cynk, miedź, chrom, kadm, ołów, nikiel, rtęć, a także zanieczyszczenia organiczne m.in. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), polichlorowane bifenyle (PCB) i pestycydy chloroorganiczne. Osady dennie o dużej zawartości szkodliwych składników mogą stać się źródłem wtórnego zanieczyszczenia wody w wyniku sprzyjających procesów fizycznych (resuspensja osadów na rosnących wskutek zamulania płyty zbiornika), chemicznych i biochemicznych zachodzących w zbiorniku.

Ocena jakości chemicznej osadów dennych nie tylko odzwierciedla stan środowiska wodnego, lecz także jest podstawą do określenia sposobów ich zagospodarowania w środowisku lub utylizacji. Zakres analizy chemicznej osadów dennych uwzględnia stosowane kryteria ich zanieczyszczenia, pozwalające na wykonanie oceny ogólnej jakości osadów (geochemicznej) oraz oceny możliwości ich przyrodniczego zagospodarowania (np. jako urobku).

W tej sytuacji oraz przy trudnościach z budową kolejnych zbiorników konieczne stało się uściślenie przytoczonych wyżej danych oraz dokładne rozpoznanie problemów związanych z procesem zamulania i jego kontrolą w zbiornikach oraz ustalenie technicznych i ekonomicznych możliwości odzyskiwania utraconej pojemności retencyjnej. Było to powodem podjęcia realizacji zadania 8 dotyczącego badań nad degradacją polskich zbiorników retencyjnych, również w aspekcie ewentualnych zmian klimatu.

## **1. Cele i zakres wykonanych prac**

Główne cele przeprowadzonych prac to:

- aktualizacja możliwości retencyjnych polskich zbiorników zaporowych,
- ustalenie sposobów odzyskiwania utraconej pojemności zbiorników oraz możliwości technicznych i ekonomicznych zagospodarowania osadów w nich akumulowanych,
- opracowanie zasad i programu systematycznej kontroli batymetrycznej zbiorników.

Aby zrealizować wymienione cele wykonano następujące prace:

- oceniono możliwości retencyjne polskich zbiorników na podstawie danych projektowych i archiwalnych wyników pomiarów batymetrycznych,
- wytypowano do badań 51 zbiorników spełniających założone kryteria,
- wykonano pomiary batymetryczne wybranych zbiorników, charakterystycznych z powodu lokalizacji,
- na podstawie danych pomiarowych przeanalizowano dynamikę procesu zamulania poszczególnych zbiorników,

- oceniono możliwości zmniejszenia intensywności zamulania przez działania przyrodnicze i inżynierskie na terenie zlewni oraz na samym zbiorniku,
- wykonano badania chemiczne i biologiczne próbek osadów dennych zakumulowanych w wybranych zbiornikach,
- określono przydatność osadów dennych do ewentualnego zagospodarowania oraz przeanalizowano możliwości techniczne i efekty ekonomiczne ich wydobycia,
- podjęto prace dotyczące wymagań technicznych wykonywania i opracowywania pomiarów batymetrycznych oraz wieloletniego harmonogramu ich realizacji.

## 2. Metodyka badań

Prace omawiane w tej części *Monografii* podzielono na osiem etapów. Po analizie wstępnych informacji postanowiono objąć pracami tylko sztuczne zbiorniki wodne, których pojemność całkowita, w chwili oddawania ich do eksploatacji, wynosiła co najmniej 5 mln m<sup>3</sup>. Ustalono, że w Polsce jest eksploatowanych sześćdziesiąt sześć takich zbiorników. Na potrzeby omawianego zadania wybrano zbiorniki utworzone przez zapory i zlokalizowane na naturalnych ciekach. W dalszych analizach zrezygnowano z: 7 zbiorników zlokalizowanych w wyrobiskach, 3 zbiorników przepływowych, 2 zlokalizowanych na kanale, 1 podpiętrzającego 5 jezior, 1 suchego zbiornika przeciwpowodziowego i 1 zbiornika elektrowni pompowej – o łącznej pojemności 917,1 mln m<sup>3</sup>. Ostatecznie dalszymi pracami objęto 51 zbiorników o łącznej pojemności początkowej 2 865,13 mln m<sup>3</sup>.

Opracowano wzór karty inwentaryzacyjnej zawierającej, oprócz informacji o lokalizacji zbiornika, powierzchni jego zlewni, właścicielu, przeznaczeniu, terminie rozpoczęcia eksploatacji oraz jego parametrach technicznych, również niezbędne do dalszych prac dane na temat przeprowadzonych dotychczas kontrolnych prac pomiarowych (pomiarów batymetrycznych) i ostatnich zarejestrowanych parametrach obiektu ustalonych na ich podstawie. Karty inwentaryzacyjne wypełniono na podstawie:

- informacji otrzymanych od eksploatatorów zbiorników (m.in. danych zawartych w instrukcjach eksploatacji),
- własnych materiałów archiwalnych (w tym opracowań wykonanych przez IGW, PIHM i IMGW pomiarów batymetrycznych),
- publikacji naukowych,
- monografii budowli piętrzących,
- innych źródeł, do których udało się dotrzeć.

Obiekty podlegające analizie przyporządkowano, w zależności od ich lokalizacji, do trzech grup zbiorników: karpackich, sudeckich i nizinnych. Do tych ostatnich zaliczono również zbiorniki zlokalizowane na obszarze Gór Świętokrzyskich.

Zgromadzone dane poddano szczegółowej weryfikacji. Była ona konieczna między innymi dlatego, że:



- wyjściowe (projektowane) krzywe pojemności zbiorników i powierzchni ich zalewu w zależności od rzędnych piętrzenia budzą często uzasadnione wątpliwości; były one przeważnie konstruowane na podstawie, nie weryfikowanych bezpośrednimi pomiarami, podkładów mapowych,
- w czasie budowy zapory na obszarze czaszy zbiornika często wykonywano znaczące roboty ziemne, które miały istotny wpływ na jego pojemność,
- z dna niektórych zbiorników wydobywane jest kruszywo w ilościach mających wpływ na pojemność poszczególnych warstw.

Ze zgromadzonego materiału wynika jednoznacznie, że w Polsce nie mamy pełnej, wiarygodnej informacji o aktualnej pojemności zaporowych zbiorników retencyjnych. Jest to spowodowane niefunkcjonowaniem systemu kontrolowania, przez pomiary batymetryczne, zmian zachodzących w pojemności zbiorników.

W grupie analizowanych 51 zbiorników wyodrębniono:

- tylko jeden obiekt kontrolowany wystarczająco – zbiornik Rożnów, na którym wykonywano pomiary batymetryczne średnio co 6 lat,
- zbiorniki kontrolowane dosyć systematycznie – Brody Iłżeckie, Dobczyce, Poraj, Sulejów i Tresna, dla których wykonywano pomiary co 5–10 lat, a maksymalna przerwa nie przekroczyła 19 lat,
- zbiorniki, które były kontrolowane systematycznie do chwili wybudowania bezpośrednio powyżej nich dużych zbiorników retencyjnych; taka sytuacja dotyczyła zbiornika Porąbka (do czasu wybudowania zbiornika Tresna), oraz zbiornika Myczkowce (do czasu wybudowania zbiornika Solina),
- zbiorniki kontrolowane sporadycznie (raz lub dwukrotnie w czasie całej eksploatacji), np: Koronowo, Leśna, Lubachów, Pilchowice i Złotniki, dla których średnia liczba lat między pomiarami wynosi od 23 do 45, a maksymalna przerwa – nawet 75 lat,
- zbiorniki nigdy nie kontrolowane – jest ich aż 21, czyli ponad 41% rozpatrywanego zbioru.

Z powodu braku pełnej informacji o aktualnym stanie zamulenia poszczególnych zbiorników, a zarazem aby móc ocenić ich możliwości retencyjne trzeba było posłużyć się metodami uproszczonymi – obliczeniami teoretycznymi. Oprócz możliwości oszacowania objętości rumowiska odłożonego w czasie eksploatacji w zbiornikach kontrolowanych sporadycznie lub w ogóle nie kontrolowanych, obliczenia te dostarczyły także materiału porównawczego dla tych zbiorników, na których wykonywano wiarygodne pomiary batymetryczne.

Miarą intensywności zamulania zbiornika jest roczna strata jego pojemności. Jest ona funkcją powierzchni zlewni zamkniętej zaporą oraz wskaźnika charakteryzującego jej denudację. Drugą wielkością charakteryzującą intensywność zamulenia może być *wskaźnik zamulenia* – stosunek średniego rocznego zamulenia do powierzchni zlewni zamkniętej zaporą. Jest on wyrażany w mm/rok lub w  $m^3/km^2$  rok. Odwrotnością intensywności zamulenia jest długowieczność (żywołność)

zbiornika. Im większa intensywność zamulenia, tym krótsza jest żywotność zbiornika. Obserwacje zamulania zbiorników wodnych dały podstawy do opracowania odpowiednich metod obliczeniowych. Obliczenia dla zbiorników eksploatowanych, a niemających w ogóle bądź od dłuższego czasu bezpośrednich pomiarów objętości, są wykonywane analogicznie do prognozy zamulania. Są one dokładniejsze od prognozy, jeżeli możemy w nich wykorzystać np. wyniki pomiarów ruchu rumowiska na danym cieku w okresie eksploatacji zbiornika. W zależności od potrzeb, wymaganego stopnia dokładności oraz od ilości i adekwatności wyników wieloletnich pomiarów elementów transportu rumowiska w naturze, stosuje się prognozy orientacyjne i szczegółowe. Orientacyjne wskazują na rząd wielkości zamulenia. Opierają się na wskaźnikach danych z poszczególnych regionów i podregionów hydrograficznych, dotyczących poszczególnych czynników wpływających na wielkość zamulenia zbiorników wodnych. Prognozy szczegółowe powinny być oparte na systematycznych pomiarach ilości materiału unoszonego i wlezonego. W przypadku istniejącego zbiornika, faktyczne średnie zamulenie w pierwszym okresie eksploatacji uzyskuje się przez porównanie bezpośredniego pomiaru pojemności zbiornika z pojemnością początkową, zaraz po wybudowaniu obiektu.

Obliczenia akumulacji rumowiska w zbiorniku wykonuje się metodami: analogii, intensywności denudacji, pomiarów unoszenia. Służą one do określenia średniego rocznego zamulenia zbiornika. Na podstawie tego oblicza się żywotność zbiornika oraz przebieg zamulenia wraz z upływem czasu.

Ze względu na trudności związane z wykorzystaniem materiałów z bezpośrednich pomiarów unoszenia i wleczenia, w obliczeniach można oprzeć się na danych charakteryzujących intensywność denudacji w poszczególnych regionach i podregionach hydrograficznych. Służy do tego opracowana przez Reniger 9-stopniowa skala zmywalności gruntu, natomiast do ilościowego określenia denudacji, odpowiadającej poszczególnym klasom, służą wskaźniki opracowane przez Dębskiego lub wskaźniki denudacji odpływowej opracowane w IMGW. Obliczając średnie roczne zamulenie na podstawie intensywności denudacji zlewni, należy brać pod uwagę, jaka część zlewni jest wyłączona przez zabudowę zbiornikową z udziału w transporcie rumowiska unoszonego lub w jaki sposób ta zabudowa ogranicza transport unosin.

Obserwacje procesów zamulania wykazują, że zależność między okresem eksploatacji zbiornika a objętością osadów w nim nagromadzonych w dłuższym czasie nie jest liniowa. Wraz z upływem czasu rośnie bowiem ilość drobnego rumowiska (unosin) przepływającego przez zbiornik i dostającego się do cieku poniżej zapory. Rzeczywisty przebieg zamulania może odwzorować krzywa dążąca asymptotycznie do granicy, którą jest różnica między początkową ( $V_0$ ) a końcowa ( $V_k$ ) pojemnością zbiornika. Równanie tej krzywej wyprowadzili Orth i Szamow na podstawie danych empirycznych. W praktyce w Polsce dobre wyniki daje teoretyczny wzór Gonczarowa, którego wyniki są zbliżone do tych otrzymywanych metodą Ortha-Szamowa. Wzór ma postać:

$$Z_t = V_0 \cdot \left\{ 1 - \left[ 1 - \frac{Z_1}{V_0} \right]^t \right\}$$

gdzie:

- $Z_t$  – objętość osadów w zbiorniku po upływie  $t$  lat w  $m^3$ ,
- $V_0$  – początkowa pojemność zbiornika w  $m^3$ ,
- $Z_1$  – średnie roczne zamulenie w początkowym okresie eksploatacji zbiornika w  $m^3$ ,
- $t$  – liczba lat (dowolnie założona).

Zgodnie z założonym zakresem prac wykonano obliczenia możliwości retencyjnych rozpatrywanych zbiorników. Wystąpiły przypadki niżej omówione:

- I. Pomiary batymetryczne na zbiorniku wykonano w ostatnich latach – w tym przypadku aktualna pojemność zbiornika oraz objętość rumowiska w nim zakumulowanego została ustalona na podstawie aktualnej krzywej pojemności.
- II. Pomiary batymetryczne na zbiorniku wykonano kilka lub kilkanaście lat temu – w tym przypadku wartość rocznego zamulenia ( $Z_1$ ) została ustalona w oparciu na ich wynikach z:

$$Z_1 = V_0 - e^c$$

czyli przekształconego wzoru Gonczarowa, gdzie:

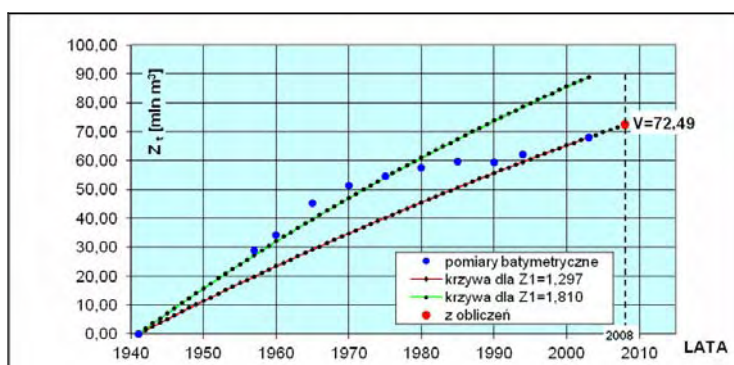
$$c = \frac{\ln(V_t \cdot V_0^{t-1})}{t}$$

Oznacza to, że wartość  $Z_1$  została tak dobrana, że zamulenie zbiornika obliczone po  $t$  latach eksploatacji (czyli po liczbie lat, jaka upłynęła od oddania zbiornika do eksploatacji do roku wykonania ostatnich wiarygodnych pomiarów batymetrycznych) jest identyczne z zamuleniem ustalonym w wyniku pomiarów. Tak dobrana wartość  $Z_1$  umożliwia obliczenie zamulenia tego zbiornika na koniec np. roku 2008, a w konsekwencji jego aktualnej pojemności. Sposób takiego postępowania przedstawiono na rys. 4.

- III. Nigdy nie wykonywano pomiarów batymetrycznych na zbiorniku – w tym przypadku wartość rocznego zamulenia  $Z_1$  ustalono metodami: Reniger-Dębskiego oraz wskaźnika denudacji odpływowej.

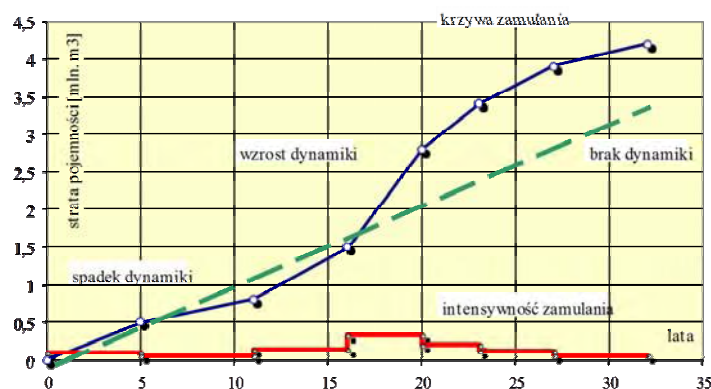
Podczas obliczania średniego rocznego zamulenia zbiornika metodą Reniger – Dębskiego oraz wskaźnika denudacji odpływowej, na odpowiednią mapę intensywności denudacji nanoszono zarys zlewni położonej powyżej tego zbiornika i przyporządkowano poszczególnym klasom lub wskaźnikom denudacji powierzchnie cząstkowe zlewni. Iloczyny części powierzchni zlewni odpowiadające danej klasie denudacji i wskaźnika intensywności denudacji sumowano. Ponieważ

te wskaźniki w obydwu metodach są wyrażone w  $t/km^2rok$ , to przy przeliczaniu wyników na objętość osadzonego rumowiska, przyjmowano jego ciężar objętościowy równy  $0,7 t/m^3$ . Trzeba było również uwzględnić to, że część zlewni zbiornika mogła być wyłączona z transportu rumowiska przez inny zbiornik zbudowany powyżej. Kierując się tymi zasadami, można było obliczyć dla rozpatrywanych zbiorników utratę przez nie pojemności w trakcie dotychczasowej eksploatacji.



Rys. 4. Sposób obliczania aktualnej objętości rumowiska zakumulowanego w zbiorniku Rożnów

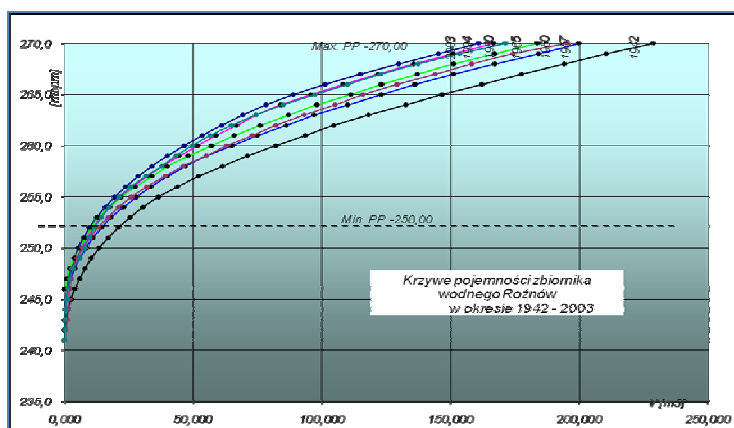
Dla planowania możliwości magazynowania wody w zbiorniku retencyjnym istotna jest znajomość intensywności i dynamiki procesu jego zamulania oraz przebiegu zmian pojemności poszczególnych warstw czaszy tego zbiornika. Pod pojęciem dynamiki zamulania rozumie się zmianę intensywności tego procesu w czasie, ustaloną bezpośrednimi pomiarami. Z równania teoretycznej krzywej zamulania zbiornika wynika, że przebieg akumulacji osadów ma charakter krzywoliniowy, a odwzorowuje go krzywa potęgowa, dążąca asymptotycznie do granicy, którą stanowi pojemność końcowa przyjmowana na poziomie 80% maksymalnej pojemności początkowej.



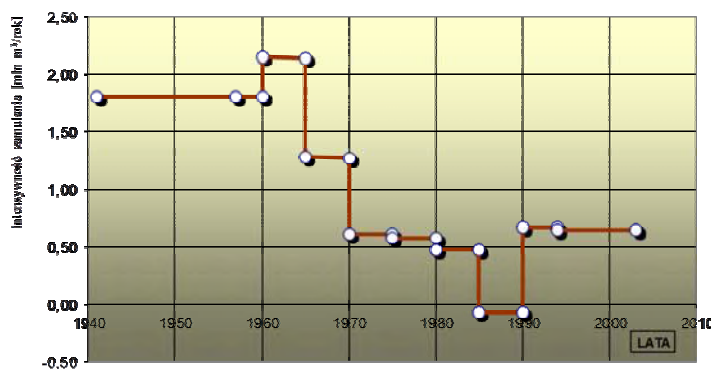
Rys. 5. Schemat przebiegu intensywności i dynamiki zamulania zbiornika wodnego

Graficzne odwzorowanie przebiegu intensywności i dynamiki zamulania zbiornika wodnego przedstawia rys. 5.

Oceniając dynamikę zamulania retencyjnych zbiorników zaporowych oraz rozkład osadzonego w nich materiału dostarczonego ze zlewni, oparto się na analizie transformacji krzywych pojemności. Różnica objętości osadu między dwoma pomiarami odpowiada objętości rumowiska zatrzymanego w zbiorniku w czasie dzielącym te pomiary. Strefę intensywnego zamulania w poszczególnych warstwach zbiornika określano na podstawie analizy krzywych strat pojemności wybranych obiektów. Straty pojemności można też określić w oparciu na pomiarach siatki stałych przekrojów poprzecznych rozmieszczonych na całej powierzchni zbiornika, sporządzając mapę różnicową dna odnoszącą się do pomiarów wykonanych w różnych latach. Transformację krzywych pojemności zbiornika w miarę jego eksploatacji dobrze pokazuje rys. 6. Na rys. 7 wyznaczono zaś przebieg intensywności zamulania zbiornika w tym samym okresie, tj. w latach 1942–2003 r.

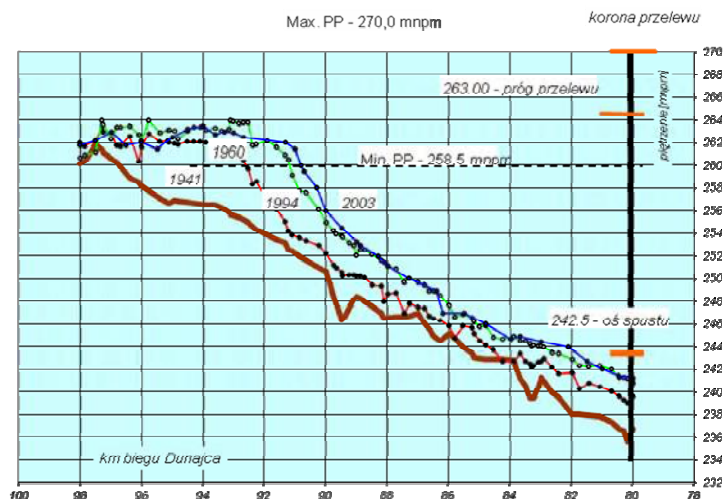


Rys. 6. Krzywe pojemności zbiornika Rożnów w różnych latach jego eksploatacji (1942–2003)

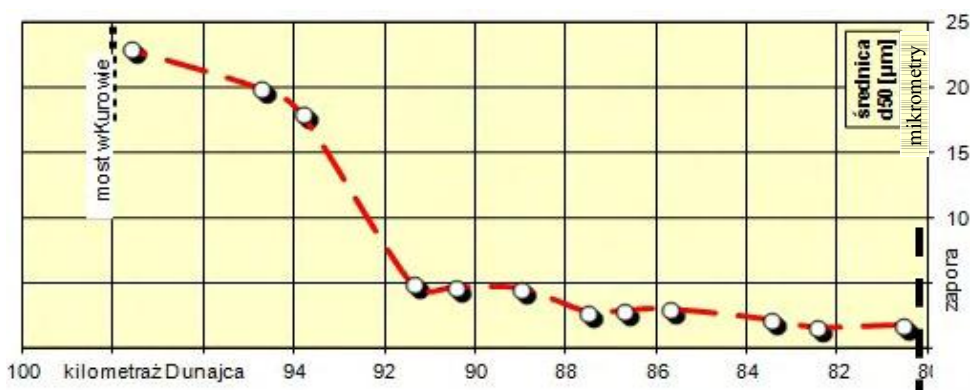


Rys. 7. Zbiornik Rożnów. Przebieg intensywności zamulania w latach 1942–2003

Dodatkowego materiału do analizy procesu zamulania zbiornika dostarczają także jego profile podłużne oraz wykres rozkładu, sporządzone na podstawie wyników pomiarów batymetrycznych: charakteryzujących rumowisko, średnic  $d_{50}$  wzdłuż osi zbiornika. Takie średnice ustala się dla pobranych z dna próbek na skutek badań granulometrycznych. Przykłady takich profili, dla tego samego zbiornika, pokazano na rys. 8 i 9.



Rys. 8. Profile podłużne dna zbiornika Rożnow w nurcie Dunajca w latach 1941–2003

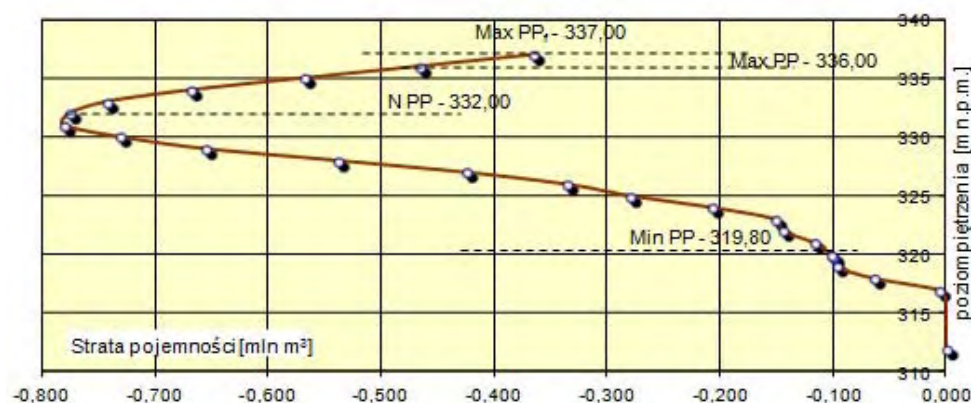


Rys. 9. Wykres rozkładu średnic  $d_{50}$  w profilu podłużnym zbiornika rożnowskiego

Inny rodzaj informacji dotyczących tej kwestii można uzyskać konstruując krzywą strat pojemności poszczególnych warstw zbiornika, co przykładowo pokazano na rys. 10 dotyczącym zbiornika Besko.

Najskuteczniejszym i najbardziej wiarygodnym sposobem monitorowania procesu zamulania zaporowych zbiorników retencyjnych jest wykonywanie w określonych odstępach czasu bezpośrednich pomiarów batymetrycznych ich

czas. Metody wykonywania takich pomiarów oraz opracowywania wyników na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat ulegały radykalnym zmianom. Pojemność projektowanego zbiornika ustalano zazwyczaj na podstawie map topograficznych i ewentualnie uściślano ją przez pomiary sytuacyjno-wysokościowe, wykonywane metodami geodezyjnymi jeszcze przed jego napełnieniem wodą. Kolejne pomiary spiętrzonego zbiornika zwykle wykonywano, sondując zastabilizowane w terenie przekroje poprzeczne. Zazwyczaj były one oddalone od siebie nawet o kilkaset metrów.



Rys. 10. Zbiornik Besko. Krzywa strat pojemności w latach 1986–2008 przy różnych napełnieniach

W ciągu ostatnich lat zasadniczo zmieniła się technika pomiarowa i obliczeniowa przy aktualizacji krzywych pojemności i obliczania zamulenia zbiorników wodnych. Do pomiarów zastosowano zintegrowany automatyczny system (GPS+DE) łączący nawigację satelitarną GPS (Global Positioning System) z echosondą cyfrową DE (Digital Echosounder), a obliczenia oparto na specjalistycznym licencjonowanym oprogramowaniu. Dzięki nowemu systemowi znacząco wzrosła wydajność pozyskiwania danych, co pozwoliło na zagęszczenie przekrojów pomiarowych, a tym samym zwiększyło dokładność ostatecznego wyniku. Oprogramowanie echosondy pozwala na projektowanie równoległych przekrojów poprzecznych zbiornika w określonym rozstawie, a częstotliwość gromadzenia danych sondowania można zaprogramować czasowo lub odległościowo. W ostatnio stosowanej praktyce pomiarowej przekroje sytuowano co 50 m, a w linii sondowania dane gromadzono co 2–5 m przebytej drogi, która była śledzona i korygowana na monitorze echosondy. Opracowanie wyników wymaga wprowadzenia danych do programu, który kreśli plan warstwiczny zbiornika z określonym cięciem oraz tworzy krzywe i tabele pojemności i powierzchni zalewu. Punkty sondowania są dodatkowo uzupełniane pikietami linii brzegowej i punktami rozproszonymi w cofce zbiornika, gdzie z uwagi na małe głębokości pomiar echosondą nie jest możliwy. Jest on wykonywany odbiornikiem GPS, który może mierzyć pozycję i wysokość z dokładnością do 2 cm. Metoda ta znacznie ogranicza błędy, a wynik końcowy zależy od przyjętych kryteriów programowych.

Obecne metody pomiarowo-obliczeniowe z zastosowaniem automatycznego sprzętu nawigacyjno-sondażowego i z komputerowym obliczaniem wyników pozwalają na osiągnięcie dokładności w granicach 1–1,8%. Dokładność może się zwiększyć w miarę zagęszczenia sieci przekrojów, co wymaga też dokładnie zmierzonych lub ustalonej z mapy (aktualnej) linii brzegowej zalewu. Błędy pomiarowe są związane z:

- dokładnością echosondy, która wynosi 0,5% wskazanej głębokości,
- kalibracją prędkości dźwięku ze względu na temperaturę i mętność wody,
- poprawką zanurzenia przetwornika,
- falowaniem podczas sondowania,
- pionowością wiązki akustycznej,
- określeniem pozycji sondowania.

Druga grupa błędów wynika z przyjętych kryteriów numerycznego modelu czaszy zbiornika, w którym najbardziej istotny jest kształt siatki oraz jej wymiary. Najczęściej stosowanym programem jest SURFER.

Jak wynika z powyższego sprzęt używany do pomiarów batymetrycznych oraz metody pomiarowe, a także sposoby opracowywania wyników podlegają ciągłej ewolucji i wskazane jest ich doskonalenie w celu dostarczenia możliwie dokładnych, aktualnych informacji o parametrach czaszy zbiornika. Z tego powodu przewidziano przeprowadzenie pomiaru testowego na zbiorniku Brody Iłżeckie oraz pomiarów na trzech zbiornikach, o różnym charakterze, wynikającym z ich położenia, zbiornikach. Zbiornikami wytypowanymi do pomiarów były: zbiornik Koronowo o największej głębokości maksymalnej wśród polskich sztucznych zbiorników nizinnych, mający najbardziej rozwiniętą linię brzegową i niezwykle urozmaiconą morfologię dna, sudecki rynnowy zbiornik Lubachów oraz karpacki zbiornik Tresna o dosyć regularnym kształcie.

Na zbiorniku Brody Iłżeckie pomiar batymetryczny połączono z testowaniem możliwości wykorzystania do takich prac sonaru Edge-Tech. 4125-D. Wytypowano ten zbiornik, ponieważ ze względu na usytuowanie ma on cechy zarówno zbiornika nizinnego, jak i górskiego. Prace terenowe poprzedzono zgromadzeniem materiałów archiwalnych dotyczących batymetrii tego zbiornika; przygotowano plan pomiarów, uwzględniający kształt linii brzegowej, przeszkody nawigacyjne i sposób sondowania, zapewniający wymaganą gęstość pokrycia akwenu pikietami. Następnie wykonano pomiar batymetryczny całego zbiornika i opracowano kameralnie uzyskane wyniki. Przeprowadzono także terenowe pomiary batymetryczne czasz trzech zbiorników: Koronowo, Tresna i Lubachów. Prace kameralne, poprzedzające prace terenowe, objęły dla każdego z tych zbiorników:

- analizę budowy i warunków panujących w zlewni, w tym m.in. sieci hydrograficznej, ukształtowania i zagospodarowania terenu,
- zgromadzenie i adaptowanie materiałów geodezyjnych i topograficznych na potrzeby pomiarów.

Prace terenowe objęły:



- pomiary batymetryczne części podwodnych zbiorników,
- uzupełniające pomiary geodezyjne sytuacyjno-wysokościowe, uwzględniające strefy zbiorników znajdujące się powyżej zwierciadła wody lub niedostępne dla sprzętu pływającego,
- kartowanie linii brzegowej i korektę względem ortofotomapy,
- pobór próbek osadów dennych do analiz chemicznych, biologicznych i granulometrycznych.

Dodatkowo na zbiorniku koronowskim wykonano kartowanie brzegów poddawanych zjawiskom abrazyjnym.

Dane uzyskane podczas prac terenowych opracowano kameralnie. Działania te objęły dla każdego zbiornika:

- opracowanie analogowego planu zbiornika,
- zbudowanie numerycznego modelu czaszy zbiornika,
- skonstruowanie aktualnej krzywej pojemności zbiornika,
- skonstruowanie aktualnej krzywej powierzchni zalewu zbiornika,
- wyznaczenie stref o różnej intensywności osadzania się rumowiska,
- analizę granulometryczną próbek rumowiska dennego.

Podczas wykonywania pomiarów batymetrycznych zbiorników Lubachów, Tresna i Koronowo stosowano opisany niżej sprzęt i sposób postępowania. Sondowanie zbiorników Lubachów i Tresna wykonano w sieci równoległych przekrojów. Aby osiągnąć wymagane zagęszczenie pikiet pływano łodzią pomiarową wzdłuż zaplanowanych profili pomiarowych co 40 m w kierunku prostopadłym do osi zbiornika i rejestrowano głębokości co 5 m. Taki sposób pomiarów zapewniał precyzyjne zarejestrowanie dużych gradientów głębokości, występujących w kierunku poprzecznym do osi zbiorników. Zastosowana echosonda Reson PC 100, współpracująca z odbiornikiem GPS, umożliwiała nawigację – sternik mógł obserwować na ekranie bieżącą pozycję i przesuwanie się łodzi pomiarowej na tle mapy z zaplanowaną trasą pływania oraz ślad przebytej drogi. System umożliwiał kontrolę i osiągnięcie wcześniej założonej gęstości punktów pomiaru głębokości.

Przed pomiarami echosonda była kalibrowana w programie *Echo-control* przez wprowadzenie poprawki prędkości dźwięku ze względu na temperaturę wody. Wyniki pomiarów zostały zapisane w pamięci urządzenia w postaci rekordów zawierających pozycje i głębokości. Do wykonania pomiarów zastosowano następujący sprzęt, przedstawiony na rys. 11:

1. Odbiornik GPS Trimble 57000.
2. Echosondę cyfrową RESON PC – 100.
3. Łódź pomiarową z silnikiem.

Dokładność pomiarów:

- położenie łodzi w czasie sondowania  $\pm 0,5$  m,

- pomiar sytuacyjno-wysokościowy brzegów metodą GPS–RTK (w poziomie  $\pm 1,0$  cm, w pionie  $\pm 2,0$  cm),
- pomiar głębokości  $\pm 0,5\%$  wskazanej głębokości  $\pm 1$  cm



Rys. 11. Łódź pomiarowa oraz schemat aparatury użytej do pomiarów batymetrycznych

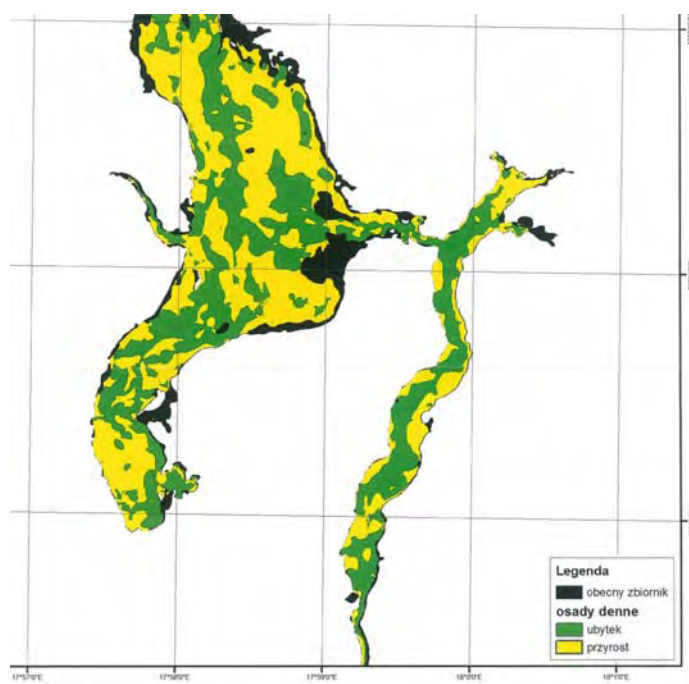
Podczas pomiarów testowych przeprowadzonych na zbiorniku Brody Ilżeckie z ww. sprzętem współdziałał sonar Edge – Tech 4125-D, pracujący z częstotliwością 400 kHz, zawieszony na burcie łodzi pomiarowej 1 m poniżej zwierciadła wody. Zapewniał on zobrazowanie dna zbiornika na szerokości 50 m po obu stronach poruszającej się łodzi. Przestrzeń podwodne znajdujące się między liniami przekrojowymi były penetrowane sonarem w poszukiwaniu ewentualnych pominiętych płyczn lub głębin.

Nieco inny sposób postępowania zastosowano podczas wykonywania pomiarów batymetrycznych na zbiorniku Koronowo, który charakteryzuje się dużą powierzchnią, niewielką średnią głębokością, a przede wszystkim bardzo silnie rozwiniętą linią brzegową, czego efektem jest duża nieregularność i nienaturalna morfometria dna. Podczas pomiarów zastosowano znaczne zagęszczenie ścieżek pomiarowych w charakterystycznych punktach badanego zbiornika, za które przyjęto m.in. takie formy, jak: płosa, mielizny, wypłylenia oraz nagłe zmiany kształtu i formy dna. Do prac użyto łodzi wyposażonej w zintegrowany system do pomiarów głębokości i wyznaczania pozycji geograficznej. Podstawowymi elementami tego systemu są echosonda EA400 SMIRAD i pozycjoner GPS Garmin 17-HVS. Oprogramowanie wykorzystane do obsługi sondy pozwoliło na wyeliminowanie problemów takich jak: falowanie powierzchni wody, niestabilność łodzi w czasie pomiarów, fałszywe echo, niekontrolowana interferencja fali odbitej. Dodatkowym elementem wpływającym na jakość pomiarów była bardzo duża częstotliwość sondowania (4 razy na sekundę). Pozwoliło to wyeliminować wszystkie błędne lub wątpliwe odczyty, które są nieodłącznym problemem przy wykorzystaniu technik akustycznych w czasie pomiarów głębokości. Każdej głębokości przyporządkowano jej pozycję (szerokość i długość geograficzną z dokładnością do 0,0001 sekundy). W wyniku integracji danych z echosondy i GPS-u otrzymano cyfrowy model terenu w formie surowej. Dane te konwertowano następnie do formatu wymagane-

go przez narzędzia typu GIS do wizualizacji i interpretacji wyników. Pozwala to na konstrukcję mapy batymetrycznej zbiornika w dwu- lub trójwymiarze, w praktycznie dowolnej skali.

Dane pomiarowe były gromadzone w pamięci echosondy w postaci zbiorów dla poszczególnych sondowań z zapisem pozycji i głębokości. Dane wprowadzono do programu SURFER, w którym opracowano je graficznie do postaci planu batymetrycznego dna zbiornika z cięciem warstwicowym co 1 m oraz analitycznie – jako tabelę pojemności i powierzchni zalewu w zależności od zmiany poziomu piętrzenia o 1 cm. Dla zbiornika Koronowo prace interpretacyjne objęły:

- a. opracowanie planu batymetrycznego wg ukształtowania terenu sprzed powstania zbiornika – na podstawie historycznych map topograficznych,
- b. digitalizację planu batymetrycznego wykonanego przez IMGW – oddział w Słupsku w 1989 r.,
- c. opracowanie aktualnego planu batymetrycznego zbiornika,
- d. wykonanie mapy różnicowej osadów dennych dla wszystkich trzech planów batymetrycznych, przedstawiającej przyrost lub ubytek osadów dennych (rys. 12).



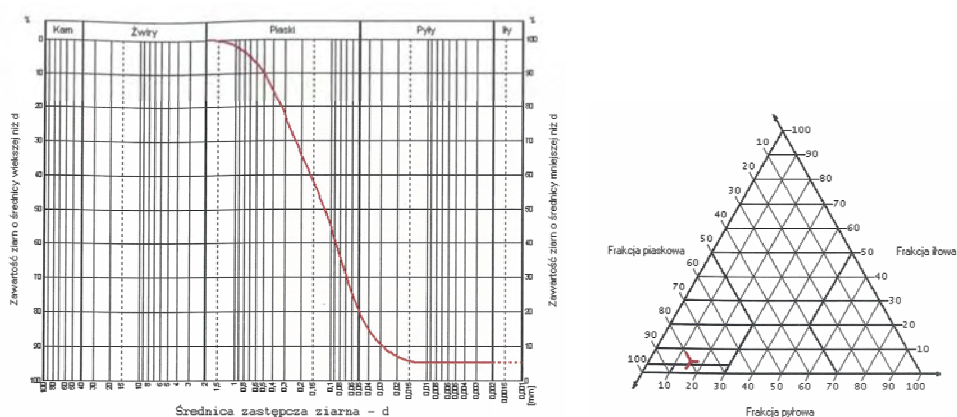
Rys. 12. Fragment mapy różnicowej osadów dennych zbiornika Koronowo wyznaczającej strefy akumulacji i alokacji

Wyniki pomiarów prowadzonych z zastosowaniem echosondy EA400 w pierwotnej formie zostały zapisane w pliku ASCII, z zachowaniem układu

współrzędnych WGS-84. Po wprowadzeniu do pakietu ArcGis podlegały obróbce, mającej na celu wyeliminowanie błędów wynikających z zakłóceń sygnału akustycznego.

Wykonano także badania granulometryczne pobranych próbek materiału zakumulowanego w zbiornikach oraz ustalono zawartość materii organicznej. Całość badań realizowano zgodnie z metodyką opisaną w normie PN-88/B-04481: *Grunty budowlane. Badania próbek gruntu. Ze* zbiorników Lubachów i Tresna pobrano odpowiednio 8 i 12 próbek osadów dennych. Z uwagi na specyfikę i szczególnie urozmaicony kształt zbiornika Koronowo pobrano 37 próbek jego osadów dennych z różnych stref głębokości. Najwięcej punktów poboru zlokalizowano w partiach głębokich, gdzie miąższość osadów okazała się największa. Ponadto, pobrano po kilka prób w rejonie mielizn i w strefach przybrzeżnych, a także w obrębie stożków napływowych, utworzonych przez rzeki wpadające do zbiornika.

Bezpośrednim efektem pomiarów batymetrycznych jest sporządzenie dla trzech zbiorników retencyjnych, tj. Lubachowa, Tresnej i Koronowa nowych krzywych ich pojemności oraz powierzchni zalewu w funkcji poziomu piętrzenia, a także planów batymetrycznych i numerycznych czasz zbiorników. Wymienione krzywe zostały także stabelaryzowane, przy założeniu zmiany rzędnej piętrzenia co 1 cm. Znajomość aktualnych parametrów zbiorników jest podstawowym wymogiem prowadzenia racjonalnej gospodarki wodnej przez ich użytkowników. Uzyskane dane posłużyły też do przeprowadzenia szeregu obliczeń i analiz, w tym m.in. zaktualizowania tempa utraty pojemności zbiorników na skutek ich zamulania, intensywności denudacji zlewni, zmian pojemności poszczególnych warstw zbiorników, a także w przypadku zbiornika koronowskiego – sporządzenia mapy różnicowej osadów dennych oraz wyznaczenia zasięgu strefy ich akumulacji. Prawidłowo wykonana mapa różnicowa, w połączeniu z badaniami granulometrycznymi, jest jednym z koniecznych warunków do wykonania prawidłowej interpretacji zjawiska i obliczenia wskaźnika denudacji zlewni.



Rys. 13. Krzywa skumulowana uziarnienia osadów strefy mielizn zbiornika Koronowo oraz ich położenie na trójkącie Fereta

Wyniki badań granulometrycznych dla poszczególnych próbek przedstawiono w formie krzywych uziarnienia pozwalających na wyznaczenie charakterystycznej średnicy  $d_{50}$ . Dokonano także podziału procentowego frakcji, co pozwoliło na określenie grupy granulometrycznej, a następnie naniesienie wartości na trójkąt Fereta, który ilustruje przynależność granulometryczną osadu (rys. 13). Dane uzyskane w czasie badań granulometrycznych są istotne przy formułowaniu wniosków odnośnie do zasadności i możliwości wykorzystywania materiału osadzonego w zbiornikach.

Korzystając głównie z publikacji zagranicznych, a tam gdzie było to możliwe – doświadczeń polskich, wykazano, że w wypadku trudności: ze znalezieniem lokalizacji pod budowę nowych zbiorników, z oporami miejscowych społeczności oraz kosztami związanymi z takimi inwestycjami, szczególnego znaczenia nabierają działania mające na celu zmniejszenie intensyfikacji zamulania zbiorników lub odzyskiwania pojemności utraconej w wyniku osadzania się w nich rumowiska. Główne kierunki takich działań to:

- zabudowa zlewni zmniejszająca jej denudację powierzchniową, konstruowanie budowli zatrzymujących rumowisko oraz zalesienia i zabiegi agrotechniczne, takie jak uprawy wstęgowe i tarasowe, a także zatrzymywanie rumowiska przez roślinność ochronną,
- budowa kanałów derywacyjnych i sztolni, umożliwiających przepuszczenie wód niosących dużo rumowiska z pominięciem zbiornika (rys. 14),
- umożliwienie transportu rumowiska przez zbiornik m.in. z wykorzystaniem prądów gęstościowych oraz jego płukanie,
- budowa zbiorników w kaskadzie oraz budowa małych zbiorników wstępnych bezpośrednio powyżej dużych obiektów, przechwytyjących rumowisko,
- usuwanie hydrauliczne lub mechaniczne osadzanego w zbiorniku rumowiska.



Rys. 14. Zapora Asahi – Japonia. Widok na kanał derywacyjny  
Źródło: [http://en.wikipedia.org/wiki/Asahi\\_Dam](http://en.wikipedia.org/wiki/Asahi_Dam)



Przeciwdziałanie zamulaniu zbiorników jest powszechne w światowej hydrotechnice. Sposoby są dobierane indywidualnie dla każdego zbiornika, ponieważ zależą od dużej liczby parametrów. Szczególnie brany pod uwagę jest wpływ takich działań na środowisko oraz ich strona ekonomiczna. W ocenie skuteczności różnych działań mających ograniczyć zamulanie szczególnie przydatne są metody analizy wielokryterialnej. Bardzo często stosuje się kilka sposobów równocześnie. Takie przedsięwzięcia muszą być wspomagane dostosowaną do nich gospodarką wodną prowadzoną na zbiorniku.

W Polsce jest stosowana tylko część wymienionych metod i to raczej w ograniczonym zakresie. Jeśli chodzi o zabiegi podejmowane w zlewniach zbiorników retencyjnych należy wymienić przede wszystkim zalesianie, korekcję progową oraz budowę zbiorników przeciwrumowiskowych (rys. 15).



Rys. 15. Zapora przeciwrumowiskowa Wilczka – Międzygórze, widok od strony wody górnej (fot. J. Winter)

Porównanie zlewni Soły (do zbiornika w Porąbce – jeszcze przed zbudowaniem zbiornika w Tresnej) oraz zlewni Dunajca (do zbiornika w Rożnowie) wskazuje na skuteczność takich działań. Zlewnia Soły, lepiej zagospodarowana, ma mniejszą denudację powierzchniową, co przekłada się na mniejszą intensywność zamulania zlokalizowanych tam zbiorników. Istniejące w Polsce budowle derywacyjne spełniają inne funkcje niż transport rumowiska z pominięciem zbiorników retencyjnych. Płukanie zbiorników odbywa się incydentalnie, przy okazji opróżniania ich z powodów technicznych. Istniejące kaskady zbiorników wyraźnie zmniejszają zamulanie obiektów niżej położonych, a pojedyncze małe zbiorniki wstępne przechwytyują część transportowanego przez cieki rumowiska. Najbardziej rozpowszechnioną w Polsce metodą odzyskiwania utraconej w wyniku zamulania pojemności retencyjnej jest bagrowanie i mechaniczne usuwanie rumowiska. Niekiedy jest to połączone z pozyskiwaniem do celów budowlanych piasków i żwirów zalegających w czaszy zbiornika. W szczególnych przypadkach, w wyniku intensywnej eksploatacji kruszywa, zbiorniki powiększyły nawet swoją objętość po-

czątkową, czego przykładem mogą być zbiorniki Nysa i Mietków. Oprócz bezpośrednich działań zabezpieczających przed zamulaniem istotne znaczenie ma możliwość wykorzystania zgromadzonych w zbiornikach osadów, dlatego przeprowadzono analizę możliwości technicznych i ekonomicznych takich działań oraz dopuszczalności przyrodniczego lub gospodarczego wykorzystania osadów po ich usunięciu ze zbiornika.

Przy ocenianiu stanu zanieczyszczenia osadów dennych zbiorników retencyjnych w Polsce należy uwzględnić:

- kryteria przyjęte w *rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 16.04. 2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony* [Rozporządzenie...2002a];
- kryteria geochemiczne zaproponowane przez Państwowy Instytut Geologiczny, uwzględniające zawartość metali ciężkich oraz związków organicznych: WWA, PCB oraz pestycydy chloroorganiczne;
- kryteria jakości gleby i ziemi przyjęte w *rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 09.09.2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi* [Rozporządzenie...2002b];
- kryteria ekotoksykologiczne.

Ocena wykonana na podstawie ww. kryteriów pozwoliła zakwalifikować osady denne polskich zbiorników retencyjnych do odpowiedniej klasy jakości oraz określić możliwości ich zagospodarowania przyrodniczego. Objęto analizami dane zgromadzone w efekcie własnych badań przeprowadzonych w 2010 r. oraz te, które uzyskano przy okazji innych prac w 2008 r. Ostatecznie dysponowano danymi pochodzącymi z 15 polskich zbiorników retencyjnych podzielonych na zbiorniki sudeckie, karpackie i nizinne. Ocenę wykonano dla zbioru wszystkich próbek osadów pobranych z tych zbiorników ( $n = 123$ ) oraz dla zbiorów próbek osadów pobranych ze zbiorników sudeckich ( $n = 40$ ), karpackich ( $n = 43$ ) i nizinnych ( $n = 40$ ). Obliczono parametry statystyczne zawartości badanych substancji: wartości minimalne, maksymalne, średnia arytmetyczna i geometryczna, mediana. Zamieszczono je w tabelach i przedstawiono na wykresach.

Próbki osadów dennych zbiorników retencyjnych pobierano do badań jednorazowo, w okresie maj – lipiec w wyznaczonych przekrojach. W jednym przekroju umiejscowiono od 1 do 3 punktów badawczych. Punkty pobrania osadów pokrywały cały obszar zbiornika, od zapory do rejonu cofki, w przekrojach poprzecznych uwzględniających kształt linii brzegowej zbiornika. Do głębokości 1 m próbki pobierano za pomocą próbnika badawczego *Nurek*, a na większych głębokościach używano sondy cylindrycznej SPT w osłonie rur wiertniczych z PCV. Próbki o wadze 1 kg umieszczano w szklanych zamykanych pojemnikach i transportowano do laboratorium w chłodziarkach. Po dostarczeniu do laboratorium, były suszone w temperaturze pokojowej, bez dostępu powietrza. Następnie osad przesiewano przez sito o średnicy oczek 2 mm. Frakcja o uziarnieniu  $> 2$  mm była ucierana w celu uzyskania rozdrobnionej próbki (ziarna  $< 0,063$  mm). Do czasu wykonania analizy chemicznej, próbki osadów przechowywano w lodówce.

Metale w osadach dennych były oznaczane metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA), po uprzednim rozтворzeniu próbki w środowisku kwasu solnego (1 + 4), w obecności nadtlenu wodoru, z zastosowaniem pieca mikrofalowego. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) oraz pestycydy chloroorganiczne oznaczano metodą chromatografii gazowej z detektorem spektrometrii masowej (GC-MS), po uprzednim ich wyekstrahowaniu heksanem z próbki osadów. Polichlorowane bifenylole (PCB) oznaczano metodą chromatografii gazowej z detektorem wychwyty elektronów (GC-ECD), po uprzednim ich wyekstrahowaniu heksanem z próbki osadów. Biogeny (N i P) oznaczane były metodą spektrometryczną, po uprzednim rozтворzeniu próbki w środowisku kwasu solnego (1 + 4), w obecności nadtlenu wodoru z zastosowaniem pieca mikrofalowego. Odczyn pH osadów dennych oznaczano metodą potencjometryczną, bezpośrednio w osadach uwodnionych, przed ich wysuszeniem na powietrzu. Zawartość materii organicznej oznaczano metodą wagową, jako stratę przy prażeniu osadów w temperaturze 550°C.

Osady pochodzące z 7 zbiorników poddano badaniom biologicznym. Wykonano na nich 3 testy ekotoksykologiczne:

- Test Microtox SPT – jest to test oceny toksyczności ostrej z wykorzystaniem bakterii luminescencyjnych *Vibrio fischeri*. W normalnych warunkach przeznaczają one znaczną część metabolizmu na produkcję światła (luminescencję). W obecności czynników zakłócających metabolizm, luminescencja ulega obniżeniu. Test jest wykonywany z użyciem analizatora M500, będącego bardzo czułym fotometrem zintegrowanym z inkubatorem, zapewniającym stałe warunki testu (temperaturę 15°C). Reakcja testowa – zmiany luminescencji, występuje bardzo szybko, odczyt wyników wykonuje się zwykle po 5–30 min inkubacji badanej próbki z bakteriami.
- Test Ostracodtoxkit – jest to test oceny toksyczności podostrej z wykorzystaniem małżoraczek *Heterocypris incongruens* opracowany przez zespół prof. Guido Persoone’a z University of Ghent. Świeżo wylęgłe z jaj małżoraczki są inkubowane z badaną próbką (osad denny, gleba) oraz zawiesiną glonów (pokarm) przez 6 dni, po czym ocenia się dwa skutki testów: śmierć oraz przyrost długości ciała. Są one porównywane z wynikami próbek kontroli negatywnej, którą stanowi nietoksyczna, sztuczna gleba kontrolna. Ostracodtoxkit jest testem skriningowym, analizowane jest jedno stężenie badanej próbki. Wykonuje się go w polistyrenowych 6-dołkowych mikropłytkach. Każdą próbkę i próbkę kontrolną bada się w 6 powtórzeniach.
- Test Phytotoxkit – kiełkowania i wczesnego wzrostu roślin – jest to test z wykorzystaniem rzeżuchy *Lepidium sativum* opracowany również przez zespół prof. Guido Persoone’a. Test jest wykonywany w specjalnie opracowanych płaskich, przezroczystych płytkach, składających się z dwóch części, z których dolna zawiera próbkę testową. Nasiona roślin są umieszczane na papierowym filtrze leżącym na wierzchu próbki. Po zamknięciu płytki przezroczystą pokrywką, płytki są ustawiane pionowo na stojaku i inkubowane przez 3



dni. Konstrukcja płytki umożliwia swobodny wzrost korzeni (w dół) i łodyg (do góry). Na końcu testu płytka z siewkami jest fotografowana. Korzenie mierzy się za pomocą programu analizy obrazu Image Tool. Wyniki porównywane są z wynikami próbek kontroli negatywnej, którą stanowi nietoksyczna, sztuczna gleba kontrolna. Phytotoxkit jest testem skriningowym, analizowane jest jedno stężenie badanej próbki.

Dla podejmowania decyzji o ewentualnym wykorzystaniu osadów zalegających w zbiornikach retencyjnych bardzo istotne są metody oceny ich jakości. Opierają się na kryteriach, które umożliwiają rozgraniczenie osadów zanieczyszczonych od niezanieczyszczonych. Jest to bardzo ważny problem związany m.in. z możliwością zagospodarowania osadów w środowisku po wydobyciu ich z dna rzek, kanałów melioracyjnych czy retencyjnych zbiorników zaporowych. Osady powinny być traktowane jako odpady, które w zależności od składu chemicznego mogą być ponownie włączone do środowiska przyrodniczego bez ograniczeń, wykorzystane z pewnymi ograniczeniami lub, jeśli są nadmiernie zanieczyszczone, muszą być poddane oczyszczaniu lub zdeponowane na składowisku odpadów.

Pierwszym polskim aktem prawnym określającym dopuszczalną zawartość zanieczyszczeń w osadach dennych jest *rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16.04.2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony*. Podano w nim stężenia substancji, które umożliwiają określenie czy urobek, pochodzący m.in. z pogłębiania zbiorników wodnych, jest zanieczyszczony. Decyduje o tym ponadnormatywna zawartość choćby jednej substancji z wymienionych w załączniku do rozporządzenia i podanych w tab.1. Urobek zanieczyszczony jest traktowany jako odpad niebezpieczny i podlega odpowiednim procedurom postępowania. Jeżeli urobek z pogłębiania nie zawiera wymienionych w rozporządzeniu zanieczyszczeń może być składowany w środowisku, np. w środowisku wodnym w miejscach do tego wyznaczonych. Procedura ta nie w pełni zabezpiecza środowisko wodne przed negatywnymi skutkami składowania w nim urobku. Dokładniejszą ocenę zagrożeń wynikających z obecności substancji toksycznych w osadach, ich biodostępności i współoddziaływania, dają wyniki biotestów.

W Państwowym Instytucie Geologicznym w 2001 r. zaproponowano metodę geochemicznej klasyfikacji osadów dennych do celów monitoringowych, w której uwzględnia się zawartość metali ciężkich oraz wiele związków organicznych, a mianowicie: polichlorowanych bifenyli (PCB), wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) i pestycydów chloroorganicznych. Wartości graniczne stężeń zanieczyszczeń (metali ciężkich i toksycznych związków organicznych) w przyjętych 4 klasach jakości osadów dennych uwzględniają ich szkodliwy wpływ na organizmy wodne. Są to zawartości, przy których:

- nie występuje negatywne oddziaływanie na organizmy wodne < TEL (threshold effects levels);
- często występuje szkodliwe oddziaływanie na organizmy wodne > PEL (probable effects levels);

- sporadycznie występuje negatywne oddziaływanie na organizmy wodne > TEL < PEL.

Zaproponowano cztery klasy jakości osadów, ze względu na zawartość szkodliwych składników: I – niezanieczyszczone; II – słabo zanieczyszczone; III – średnio zanieczyszczone; IV – bardzo zanieczyszczone (tab. 2).

Za osady I klasy przyjęto te, w których stężenia metali ciężkich i toksycznych związków organicznych nie przekraczają wartości TEL, a więc nie obserwuje się ich szkodliwego działania na organizmy wodne. Za osady II klasy przyjęto te, w których zawartość choćby jednego z zanieczyszczeń jest większa od wartości TEL, a zawartość wszystkich składników mniejsza od PEL, a więc sporadycznie występuje szkodliwe oddziaływanie. Za osady III klasy przyjęto te, w których zawartość choćby jednego szkodliwego składnika przekracza graniczną wartość dla osadów II klasy, a więc często obserwowany jest szkodliwy wpływ na organizmy wodne. Do osadów IV klasy zaliczono osady, w których choćby dla jednego składnika przekroczona jest dopuszczalna zawartość określona dla klasy III. Dla poszczególnych klas zostały określone możliwości zagospodarowania osadów. Osady zaliczone do I i II klasy – niezanieczyszczone i słabo zanieczyszczone – mogą być dowolnie zagospodarowane w środowisku wodnym i lądowym,

Tab. 1. Wartości graniczne stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony

Substancja	Wartość graniczna (mg/kg s.m.)
Metale	
Arsen	30
Chrom	200
Cynk	1000
Kadm	7,5
Miedź	150
Nikiel	75
Ołów	200
Rtęć	1
Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne	
Benzo(a)antracen	1,5
Benzo(b)fluoranten	1,5
Benzo(k)fluoranten	1,5
Benzo(ghi)perylene	1,0
Benzo(a)piren	1,0
Dibenzo(a,h)antracen	1,0
Indeno(1,2,3-c,d)piren	1,0
Polichlorowane bifenyle	
Suma kongenerów PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 i 180	0,3

np. w wyznaczonych akwenach, składowane na polach refulacyjnych, wykorzystywane do użytkowania gleb, budowy plaż, grobli czy nadbrzeży. Osady III klasy – średnio zanieczyszczone – w wodzie mogą być relokowane w wyznaczonych miejscach, a na lądzie – zagospodarowane w stopniu ograniczonym, ze względu na to, że stężenie niektórych zanieczyszczeń może ograniczyć wykorzystanie osadów tylko do upraw przemysłowych, a niekiedy w ogóle wykluczyć ich rolnicze zagospodarowanie. Osady IV klasy – bardzo zanieczyszczone – przed umieszczeniem w środowisku powinny być oczyszczone lub przechowywane na zabezpieczonych składowiskach odpadów w warunkach kontrolowanych.

Tab. 2. Klasyfikacja geochemiczna osadów na podstawie wartości średnich geometrycznych stężeń pod względem zawartości metali ciężkich

Metale	Klasy			
	I	II	III	IV
(mg/kg s.m.)				
Arsen	7	30	70	> 70
Chrom	50	100	400	> 400
Cynk	125	300	1000	> 1000
Kadm	0,7	3,5	6	> 6
Miedź	20	100	300	> 300
Nikiel	16	40	50	> 50
Ołów	30	100	200	> 200
Rtęć	0,2	0,7	0,7	> 0,7

Tab. 3. Ocena jakości osadów na podstawie wartości geometrycznych stężeń wg kryteriów dla poszczególnych grup zagospodarowania gleby i ziemi pod względem zawartości metali ciężkich

Metale	Rodzaj gleby		
	A	B	C
(mg/kg s.m.)			
Arsen	20	20	60
Chrom	50	150	500
Cynk	100	300	1000
Kadm	1	4	15
Miedź	30	150	600
Nikiel	35	100	300
Ołów	50	100	600
Rtęć	0,5	2	30

Gleba lub ziemia stosowane w pracach ziemnych oraz używane do tego celu osady pochodzące ze zbiorników wodnych powinny spełniać kryteria dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń wskazanych w *rozporządzeniu Ministra Środowiska* [Rozporządzenie...2002b]. Podano w nim dopuszczalne wartości stężeń substancji zanieczyszczających – metali ciężkich, WWA, PCB i pestycydów chloroorganicznych – dla trzech grup (A, B, C) rodzajów gruntów. Osady pochodzące z czasz zbiorników, wykorzystywane w pracach ziemnych, oprócz spełniania kryteriów dopuszczalnych zawartości stężeń, powinny uwzględniać aktualne i planowane funkcje gleby lub ziemi oraz wodoprzepuszczalność gruntów (tab. 3).

Grupa A – nieruchomości gruntowe wchodzące w skład obszaru poddanego ochronie na podstawie przepisów ustawy *Prawo wodne* oraz przepisów o ochronie przyrody. Jeżeli utrzymanie aktualnego poziomu zanieczyszczenia gruntów nie stwarza zagrożenia dla zdrowia ludzi lub środowiska, to stężenia zachowują standardy wynikające ze stanu faktycznego.

Grupa B – grunty zaliczone do użytków rolnych z wyłączeniem gruntów pod stawami i pod rowami, grunty leśne oraz zadrzewione lub zakrzewione, nieużytki, a także grunty zabudowane i zurbanizowane, z wyłączeniem terenów przemysłowych, użytków kopalnych oraz terenów komunikacyjnych.

Grupa C – tereny przemysłowe, użytki kopalne, tereny komunikacyjne.

Materiał do analiz przeprowadzanych według omówionych wyżej kryteriów stanowiły wyniki badań zbioru wszystkich 123 próbek osadów dennych pobranych z 15 zbiorników retencyjnych.

## **Diagnoza i prognoza stanu polskich zbiorników retencyjnych**

*Urszula Dmitruk, Jerzy Kloze, Edmund Sieński*

Analizując, uzyskane w trakcie realizacji projektu KLIMAT, dane dotyczące rozpatrywanych 51 zaporowych zbiorników retencyjnych pod kątem degradacji postępującej w miarę ich eksploatacji skoncentrowano się na dwóch aspektach tego zjawiska: ilościowym i jakościowym.

Zmiany ilościowe, tj. stopniowe zmniejszanie się pojemności zbiorników, a w konsekwencji utrata możliwości retencyjnych, prześledzono w trzech grupach obiektów. Pierwsza, dla której uzyskane wyniki są w pełni wiarygodne, obejmuje 18 zbiorników posiadających uaktualnione krzywe pojemności i powierzchni zalewu czasz – w efekcie pomiarów batymetrycznych przeprowadzonych w latach 2008–2011. Wyjściowe i aktualne parametry zestawiono w tab. 1.

Jeden ze zbiorników w tej grupie, Mietków, na skutek intensywnego wydobycia kruszywa, zwiększył początkową maksymalną pojemność z 71,80 do 76,98 mln m<sup>3</sup> czyli o 5,18 mln m<sup>3</sup>, co stanowi 7,2% pojemności początkowej. Łączna wyjściowa pojemność pozostałych 17 zbiorników wynosiła 1005,96 mln m<sup>3</sup>, a średni czas ich eksploatacji to 35,9 lat. W wyniku zamulania zbiorniki straciły w tym czasie 37,76 mln m<sup>3</sup>, czyli 3,75% pojemności początkowej.

W tab. 2 zestawiono natomiast obliczenia wykonane dla drugiej grupy – 12 zbiorników, na których przeprowadzono pomiary batymetryczne przed rokiem 2008.

Korzystając z wyników pomiarów oraz postępując w sposób opisany w poprzednim podrozdz., obliczono przypuszczalną ilość rumowiska odłożonego w tych zbiornikach do 2008 r. Należy podkreślić, że wyliczone w tych przypadkach średnie roczne zamulenie (kolumna 13 w tab. 2) nie jest ilorazem objętości odłożonego rumowiska i liczby lat w ciągu których to nastąpiło, ale wielkością ustaloną na podstawie równania krzywej ilustrującej przebieg zamulania zbiornika w czasie. Zaletą takiego postępowania jest to, że tak obliczona wartość uwzględnia zmienność, w rozpatrywanym okresie, wszystkich czynników kształtujących proces akumulacji rumowiska np. panujące warunki atmosferyczne, sposób gospodarowania wodą na zbiorniku, działalność człowieka na obszarze zlewni itd.

Tab. 1. Parametry zbiorników, na których wykonano pomiary batymetryczne w latach 2008–2011

Lp.	Zbiornik	Rok pierwszego napełnienia	Rok ostatniego pomiaru batymetrycznego	Pojemność zbiornika (mln m <sup>3</sup> )		Strata pojemności (mln m <sup>3</sup> )	Powierzchnia zlewni (km <sup>2</sup> )	Liczba lat eksploatacji zbiornika do ostatniego pomiaru batymetrycznego	Średnie roczne zamulenie zbiornika (mln m <sup>3</sup> /rok)	Średnia roczna strata pojemności zbiornika (%)	Wskaźnik zamulania (mm/rok)
				Początkowa	W roku ostatniego pomiaru batymetrycznego						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Besko	1978	2008	14,70	13,71	0,99	207	30	0,033	0,22	0,159
2.	Bukówka	1988	2008	16,79	16,45	0,34	58	20	0,017	0,10	0,293
3.	Chańcza	1985	2011	24,22	23,78	0,44	475	26	0,017	0,07	0,036
4.	Dobczyce	1987	2008	141,74*	137,95	3,79	768	11*(21)	0,345	0,24	0,449
5.	Dobromierz	1987	2008	11,35	11,17	0,18	80	21	0,009	0,08	0,112
6.	Goczałkowice	1956	2010	168,40***	161,25	7,15	523	42*** (54)	0,170	0,10	0,325
7.	Jeziorsko	1988	2008	202,80	202,04	0,76	9063	20	0,038	0,02	0,004
8.	Klimkówka	1995	2011	43,50	42,53	0,97	210	16	0,061	0,14	0,290
9.	Koronowo	1962	2010	100,15****	96,00	4,15	4108	22	0,189	0,19	0,046
10.	Lubachów	1918	2010	7,07	5,84	1,23	157	92	0,013	0,18	0,083
11.	Łąka	1986	2008	11,15	10,17	0,98	165	22	0,045	0,40	0,272
12.	Poraj	1978	2008	21,11	20,80	0,31	389	30	0,010	0,05	0,025
13.	Porąbka	1936 (1967)	(1967)	32,15 (28,35)	(28,35)	3,80	1091	31	0,123	0,38	0,113
			2010	(28,35)	26,54	1,81	–	43	0,042	0,15	–
14.	Przecczyce	1963	2010	20,74	20,35	0,39	294	47	0,008	0,04	0,027
15.	Sulejów	1973	2008	77,59	75,11	2,48	4950	35	0,071	0,09	0,014
16.	Tresna	1967	2010	108,00	100,43	7,57	1030	43	0,176	0,16	0,171
17.	Wisła Czarne	1973	2010	4,50****	4,08	0,42	29	37	0,011	0,24	0,379
	Σ			1005,96	968,20	37,76	–	610	–	–	–
18.	Mietków**	1986	2008	71,80	76,98	-5,18	715	22	–	–	–
	Σ			1077,76	1045,18	32,58	–	632	–	–	–

\*Wielkość ustalona w roku 1997

\*\* Ze zbiornika wydobywane jest intensywnie kruszywo

\*\*\* Wielkość ustalona w roku 1968

\*\*\*\* Odpowiada rzędnej 553,03 m npm

Tab. 2. Parametry zbiorników, na których pomiary batymetryczne wykonano przed rokiem 2008

Lp.	Zbiornik	Rok pierwszego napełnienia	Rok ostatniego pomiaru batymetrycznego	Pojemność zbiornika (mln m <sup>3</sup> )			Strata pojemności zbiornika (mln m <sup>3</sup> )		Powierzchnia zlewni (km <sup>2</sup> )	Liczba lat eksploatacji		Średnie roczne zamulenie zbiornika (mln m <sup>3</sup> /rok)		Średnia roczna strata pojemności zbiornika (%)	Wskaźnik zamulenia (mm/rok)
				Początkowa	W roku ostatniego pomiaru batymetrycznego	W 2008 r. (obliczona)	Do ostatniego pomiaru batymetrycznego	Do 2008 r.		Do ostatniego pomiaru batymetrycznego	Do 2008 r.	Do ostatniego pomiaru batymetrycznego Z <sub>1</sub> **	Do 2008 r.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.	Czochów	1950	2003	12,00	7,97	7,59	4,03	4,41	5316 452*	53	58	0,095	0,076	0,63	0,210
2.	Kozłowa Góra	1937	1996	15,80	15,17	15,04	0,63	0,76	184	59	71	0,011	0,011	0,07	0,060
3.	Leśna	1905	1974	15,00	14,23	13,87	0,77	1,13	303	69	103	0,012	0,011	0,07	0,040
4.	Myczkowiec	1960	1982	10,90	9,82	8,68	1,08	2,22	1255 66*	22	48	0,052	0,046	0,42	0,041
5.	Otmuchów	1933	2001	142,65	130,45	129,26	12,20	13,39	2361 196*	68	75	0,187	0,179	0,13	0,079
6.	Plichowice	1913	1959	50,50	49,08	48,62	1,42	1,88	1209	46	95	0,020	0,020	0,04	0,017
7.	Rożnów	1941	2003	228,70	160,72	156,21	67,98	72,49	4864	62	67	1,298	1,082	0,47	0,267
8.	Rybnik	1972	1999	25,82	25,63	25,57	0,19	0,25	308	27	36	0,007	0,007	0,03	0,023
9.	Solina	1968	1981	492,00	489,96	485,75	2,04	6,25	1189	13	40	0,157	0,156	0,03	0,132
10.	Turawa	1948	1980	108,00	103,58	99,71	4,42	8,29	1422	32	60	0,138	0,138	0,13	0,097
11.	Złotniki	1924	1974	12,40	10,90	9,99	1,50	2,41	288	50	84	0,032	0,029	0,23	0,111
	Σ			1113,77	-	1000,29	-	113,48	-	-	737	-	-	-	-
12.	Nysa	1972	1999	111,00	123,44	-	-12,44	-	3262 901*	27	36	-	-	-	-
	Σ			1224,77	-	-	-	-	-	-	773	-	-	-	-

\* Powierzchnia zlewni różnicowej

\*\* Średnie roczne zamulenie zbiornika jest wyliczone ze wzoru jako Z<sub>1</sub>

W kolumnie 7 tab. 2 podano dla każdego zbiornika jego prawdopodobną objętość w roku 2008 odpowiadającą maksymalnej rzędnej piętrzenia. Szczególna sytuacja występuje na zbiorniku Nysa, którego pojemność w ciągu 36 lat eksploatacji zwiększyła się o 12,44 mln m<sup>3</sup>, tj. o 11,2% maksymalnej pojemności wyjściowej. Było to spowodowane intensywnym wydobywaniem kruszywa z jego czaszy. W pozostałych 11 zbiornikach, o łącznej wyjściowej maksymalnej objętości wynoszącej 1 113,77 mln m<sup>3</sup>, osadziło się w czasie ich dotychczasowej eksploatacji 113,81 mln m<sup>3</sup> rumowiska. Z tego wynika, że zbiorniki te utraciły 10,22% swojej pojemności początkowej. Średni czas ich eksploatacji (do końca 2008 r.) wyniósł 67 lat. W kolumnie 16 tab. 2 podano wielkość wskaźnika zamulania, charakteryzującą podatność zlewni zbiornika na denudację powierzchniową. W obliczeniach konieczne było uwzględnienie (w kilku przypadkach) wybudowania innego zbiornika powyżej rozpatrywanego obiektu i odpowiednie korygowanie powierzchni zlewni. Taka sytuacja miała miejsce w odniesieniu do poniżej omówionych obiektów.

- Zbiornik Myczkowce – w latach 1960–1968 zlewnia wynosiła 1255 km<sup>2</sup>. W roku 1968 oddano do użytku zbiornik Solina i od tego momentu zbiornik Myczkowce jest bezpośrednio zasilany ze zlewni różnicowej o powierzchni 66 km<sup>2</sup>. Ponieważ ostatni pomiar batymetryczny, którego wyniki są uwzględnione w obliczeniach wskaźnika denudacji wykonano w 1982 roku, to średnia ważona powierzchnia zlewni przyjęta do tych obliczeń wyniosła  $(8 \cdot 1255 + 14 \cdot 66) : 22 = 498 \text{ km}^2$ .
- Zbiornik Czychów – do obliczeń wskaźnika rocznej denudacji przyjęto jedynie zlewnię różnicową tego zbiornika, tj. 452 km<sup>2</sup>, ponieważ został on wybudowany później niż usytuowany powyżej, istniejący już od roku 1942 zbiornik Rożnów.
- Zbiornik Otmuchów – do obliczeń wskaźnika rocznej denudacji przyjęto całą zlewnię tego zbiornika, tj. 2361 km<sup>2</sup>, ponieważ ostatni pomiar batymetryczny, z którego wyników korzystano był wykonany w 2001 r., a zbiorniki Topola i Kozielno oddano do eksploatacji dopiero w 2003 r.

Trzecią grupę stanowi 21 zbiorników, na których w czasie dotychczasowej eksploatacji nigdy nie wykonywano pomiarów batymetrycznych. W tej grupie uwzględniono także zbiornik Brody Iłżeckie, na którym wprawdzie takie pomiary przeprowadzono (m.in. w roku 2009), ale nie ma możliwości odniesienia ich rezultatów do danych wyjściowych pochodzących z początku eksploatacji obiektu. Przyczyną jest przebudowa zbiornika wykonana w pierwszej połowie lat 80. XX w. Efektem tych prac było m.in. pogłębienie zbiornika i znaczne podwyższenie maksymalnego i normalnego poziomu piętrzenia. W tej grupie zbiorników ich przypuszczalną pojemność w 2008 r. ustalono na podstawie obliczeń. Korzystano z wielkości charakteryzujących denudację powierzchniową zlewni, ustalonych na drodze teoretycznej. Dla tej grupy obliczenia pojemności wykonano w dwóch wariantach. W pierwszym wariantcie wykorzystywano opracowaną przez Reniger dziewięciostopniową skalę zmywalności gruntu. Na podstawie skali oraz wyników



pomiarów transportu i osadzania się rumowiska rzeczno Dębski ustalił ilościowe wskaźniki denudacji. Natomiast w drugim wariancie obliczenia oparto na wskaźniku denudacji odpływowej, którego rozkład na terenie Polski przedstawia mapa zamieszczona w *Atlasie hydrologicznym Polski* [1987]. Wyniki obliczeń oraz parametry wyjściowe tych zbiorników zamieszczono w tab. 3 i 4.

Łączna wyjściowa pojemność tych zbiorników wynosiła 562,60 mln m<sup>3</sup>, a średni czas ich eksploatacji – 40,9 lat.

Zbiorniki te straciły:

- wg obliczeń opartych na ilościowym wskaźniku denudacji (Reniger i Dębski) – 25,92 mln m<sup>3</sup>, czyli 4,61% pojemności początkowej,
- wg obliczeń opartych na wskaźniku denudacji odpływowej (*Atlas hydrologiczny*) – 7,96 mln m<sup>3</sup>, czyli 1,41% pojemności początkowej.

W kolumnie 11 w tab. 3 i 4 widzimy znaczne rozbieżności danych. Niestety nie ma możliwości rozstrzygnięcia, które z nich są bliższe stanowi faktycznemu bez przeprowadzania pomiarów terenowych. W tej sytuacji pilne wykonanie pomiarów batymetrycznych czasz tych zbiorników staje się koniecznością. Analiza wyników zawartych w tych dwóch tabelach wykazuje, że szczególnie różnią się one w przypadku zbiorników: Zemborzyce, Nielisz (położone na Wyżynie Lubelskiej) i Topola (położony na Przedgórzu Sudeckim). W mniejszym stopniu dotyczy to zbiorników: Wióry, Rosnowo, Gródek, Słup i Siemianówka. Pewne światło na te rozbieżności rzuca porównanie ilościowego wskaźnika denudacji i wskaźnika denudacji odpływowej ze wskaźnikiem zamulania obliczonym na podstawie wykonanych pomiarów batymetrycznych. Dokonując takich porównań, trzeba oczywiście pamiętać o różnicach wynikających z definicji i sposobów obliczania tych wielkości.

Ilościowy wskaźnik intensywności denudacji ustalony dla poszczególnych rejonów Polski w wyniku prac Reniger oraz Dębskiego obejmuje łączną ilość produktów denudacji, tj. materiał wleczony i unoszony docierający do zbiornika. Wskaźnik denudacji odpływowej ustalono na podstawie wyników pomiarów transportu tylko rumowiska unoszonego w rzekach. Wskaźnik zamulania jest natomiast stosunkiem średniego rocznego zamulenia zbiornika (ustalonego na podstawie pomiarów jego czaszy) do powierzchni zlewni zamkniętej zaporą. Dotyczy więc tej części rumowiska, która pochodzi z erozji zlewni i została zakumulowana w zbiorniku. W rzeczywistości część rumowiska unoszonego docierającego do zbiornika przepływa przez niego. Ilość rumowiska przepływającego zwiększa się w miarę eksploatacji obiektu. Tak więc wskaźnik zamulania ustalony dla początkowych lat eksploatacji zbiornika jest powiązany z ilościowym wskaźnikiem intensywności denudacji i powinien być od niego nieco mniejszy (o ilość rumowiska unoszonego przepływającego przez zbiornik). Wskaźnik denudacji odpływowej nie uwzględnia zaś rumowiska wlezonego. Mimo tych zastrzeżeń, trzy wymienione wskaźniki, dobrze określone, powinny być porównywalne. Zestawiono je w tab. 5, 6 i 7, grupujących zbiorniki wg ich położenia na: nizinne, karpackie i sudeckie.

Tab. 3. Przepuszczone parametry zbiorników, na których nigdy nie wykonano pomiarów batymetrycznych (obliczone na podstawie ilościowego wskaźnika denudacji)

Lp.	Zbiornik	Rok pierwszego napełnienia	Początkowa pojemność zbiornika $V_0$ (mln m <sup>3</sup> )	Ilościowy wskaźnik denudacji (wg Renigera i Dębskiego)		Powierzchnia zlewni (km <sup>2</sup> )	Średnie roczne zamulenie zbiornika		Liczba lat eksploatacji	Strata pojemności zbiornika do 2008 r. (mln m <sup>3</sup> )	Średnia roczna strata pojemności zbiornika (%)	Maksymalna pojemność zbiornika w 2008 r. (mln m <sup>3</sup> )
				(t/km <sup>2</sup> rok)	(mm/rok)		(t)	(tys. m <sup>3</sup> )				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	Brody Iżeckie	1964	1,68*	49,00	0,070	527**	25830	36,9	44	1,048	0,490	7,59***
2.	Cieszanowice	1997	7,34	1,32	0,002	105	139	0,2	11	0,002	0,003	7,34
3.	Czorsztyn	1997	231,90	218,00	0,311	597	306146	437,4	11	4,766	0,190	227,13
				320,00	0,457	550						
4.	Domaniów	2001	12,90	1,32	0,002	737	973	1,4	7	0,010	0,010	12,89
5.	Gródek	1923	5,60	1,32	0,002	130**	172	0,2	85	0,017	0,004	5,58
6.	Jastrowie	1931	5,17	1,32	0,002	85**	112	0,2	77	0,015	0,004	5,15
7.	Kozielno	2003	16,40	28,80	0,041	82**	2362	3,4	5	0,017	0,020	16,38
8.	Niedalino	1913	5,50	1,32	0,002	12**	16	0,02	95	0,008	0,001	5,49
9.	Nielisz	1973	19,50*	123,00	0,176	1236	152028	217,2	31	5,937	0,850	19,63
		2007	(25,57)						1			
10.	Pierzchały	1916	11,50	14,90	0,021	2106	31379	44,8	92	3,469	0,370	8,03
11.	Rosnowo	1922	8,80	14,90	0,021	629	9372	13,4	86	1,081	0,150	7,72
12.	Siemianówka	1990	79,50	1,32	0,002	1092	1441	2,1	18	0,038	0,003	79,46
13.	Słup	1978	38,65	14,90	0,021	392	5841	8,3	30	0,248	0,020	38,40
14.	Słupca	1965	6,42	1,32	0,002	111	147	0,2	43	0,009	0,003	6,41

Lp.	Zbiornik	Rok pierwszego napełnienia	Początkowa pojemność zbiornika $V_0$ (mln m <sup>3</sup> )	Ilościowy wskaźnik denudacji (wg Reniger i Dębskiego)		Powierzchnia zlewni (km <sup>2</sup> )	Średnie roczne zamulenie zbiornika (t)		Liczba lat eksploatacji	Strata pojemności zbiornika do 2008 r. (mln m <sup>3</sup> )	Średnia roczna strata pojemności zbiornika (%)	Maksymalna pojemność zbiornika w 2008 r. (mln m <sup>3</sup> )
				(t/km <sup>2</sup> ·rok)	(mm/rok)		(t)	(tys. m <sup>3</sup> )				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
15.	Sosnowka	2002	14,00	14,90	0,021	15**	224	0,3	6	0,002	0,002	14,00
16.	Stromowce Wyżne	1994	7,40****	218,00	0,311	140**	30520	43,6	14	0,587	0,590	6,81
17.	Strzegomino	1924	5,10	14,90	0,021	820	12218	17,5	84	1,279	0,340	3,82
18.	Topola	2003	26,50	320,00	0,457	2139	684480	977,8	5	4,541	3,690	21,96
19.	Wióry	2007	35,00	123,00	0,176	363	44649	63,8	1	0,064	0,180	34,94
20.	Zemborzyce	1974	7,74	49,00	0,070	365	62165	88,8	34	2,512	1,150	5,23
21.	Żur	1929	16,00	1,32	0,002	1829	2414	3,5	79	0,274	0,020	15,73
	Σ		562,60	-	-	-	-	-	859	25,924		549,69

\* przed przebudową zbiornika

\*\* zlewnia różnicowa

\*\*\* wg pomiaru batymetrycznego z roku 2009

\*\*\*\* bez zbiornika na Niedzianiec.

Tab. 4. Przepuszczone parametry zbiorników, na których nigdy nie wykonano pomiarów batymetrycznych (obliczone na podstawie wskaźnika denudacji odpływowej)

Lp.	Zbiornik	Rok pierwszego napełnienia	Początkowa pojemność zbiornika $V_0$ (mln m <sup>3</sup> )	Wskaźnik denudacji odpływowej		Powierzchnia zlewni (km <sup>2</sup> )	Średnie roczne zamułenie zbiornika (tys. m <sup>3</sup> )		Liczba lat eksploatacji	Strata pojemności zbiornika do 2008 r. (mln m <sup>3</sup> )	Średnia roczna strata pojemności zbiornika (%)	Maksymalna pojemność zbiornika w 2008 r. (mln m <sup>3</sup> )
				(t/km <sup>2</sup> rok)	(mm/rok)		(t)	(tys. m <sup>3</sup> )				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.	Brody Iżeckie	1964	1,68*	39,90	0,057	527**	21027	30,0	44	0,920	0,400	7,59***
2.	Cieszanowice	1997	7,34	2,70	0,004	105	284	0,4	11	0,004	0,005	7,34
3.	Czorsztyń	1997	231,90	104,20	0,149	1147	119517	170,7	11	1,874	0,070	230,03
4.	Domanów	2001	12,90	2,70	0,004	737	1990	2,8	7	0,020	0,020	12,88
5.	Gródek	1923	5,60	3,10	0,004	130**	403	0,6	85	0,051	0,010	5,55
6.	Jastrowie	1931	5,17	1,70	0,002	85**	144	0,2	77	0,015	0,004	5,15
7.	Koziełno	2003	16,40	32,30	0,046	82**	2649	3,8	5	0,019	0,020	16,38
8.	Niedalino	1913	5,50	4,10	0,006	12**	49	0,1	95	0,009	0,002	5,49
9.	Nielisz	1973 2007	19,50* (25,57)	3,90	0,006	1236	4820	6,9	31	0,220	0,030	25,35
10.	Pierzchały	1916	11,50	8,80	0,013	2106	18532	26,5	92	2,199	0,230	9,30
11.	Rosnowo	1922	8,80	4,10	0,006	629	2579	3,7	86	0,313	0,040	8,49
12.	Siemianówka	1990	79,50	0,50	0,001	1092	546	0,8	18	0,014	0,001	79,49
13.	Ślup	1978	38,65	5,40	0,008	392	2117	3,0	30	0,090	0,010	38,56
14.	Ślupca	1965	6,42	1,60	0,002	111	178	0,3	43	0,013	0,005	6,41
15.	Sosnówka	2002	14,00	13,80	0,020	15**	207	0,3	6	0,002	0,002	14,00

Lp.	Zbiornik	Rok pierwszego napełnienia	Początkowa pojemność zbiornika $V_0$ (mln m <sup>3</sup> )	Wskaźnik denudacji odpływowej		Powierzchnia zlewni (km <sup>2</sup> )	Średnie roczne zamulenie zbiornika		Liczba lat eksploatacji	Strata pojemności zbiornika do 2008 r. (mln m <sup>3</sup> )	Średnia roczna strata pojemności zbiornika (%)	Maksymalna pojemność zbiornika w 2008 r. (mln m <sup>3</sup> )
				(t/km <sup>2</sup> ·rok)	(mm/rok)		(t)	(tys. m <sup>3</sup> )				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16.	Sromowce Wyżne	1994	7,40****	104,20	0,149	140**	14588	20,8	14	0,285	0,280	7,11
17.	Strzegomino	1924	5,10	9,60	0,014	820	7872	11,2	84	0,860	0,220	4,24
18.	Topola	2003	26,50	20,60	0,029	2083	44719	63,9	5	0,318	0,240	26,18
				32,30	0,046	56						
19.	Wióry	2007	35,00	39,90	0,057	363	14484	20,7	1	0,021	0,060	34,98
20.	Zemborzyce	1974	7,74	2,30	0,003	725	1667	2,4	34	0,081	0,030	7,66
21.	Żur	1929	16,00	3,10	0,004	1829	5670	8,1	79	0,627	0,050	15,37
	Σ		562,60						859	7,955		567,55

\* przed przebudową zbiornika

\*\* zlewnia różnicowa

\*\*\* wg pomiaru batymetrycznego z roku 2009

\*\*\*\* bez zbiornika na Niedziance

Tab. 5. Wskaźniki charakteryzujące denudację zlewni zbiorników nizinnych

Lp.	Nazwa zbiornika	Wskaźnik zamulania (na podstawie pomiarów batymetrycznych)	Ilościowy wskaźnik denudacji (wg Reniger i Dębskiego)	Wskaźnik denudacji odpływowej (wg Atlasu hydrologicznego)
			(mm/rok)	
1	2	3	4	5
1.	Brody Iłżeckie	–	0,070	0,057
2.	Chańcza	0,036	0,021	0,010
3.	Cieszanowice	–	0,002	0,004
4.	Domaniów	–	0,002	0,004
5.	Gródek	–	0,002	0,004
6.	Jastrowie	–	0,002	0,002
7.	Jeziorsko	0,004	0,002	0,002
8.	Koronowo	0,046	0,002	0,004
9.	Kozłowa Góra	0,060	0,021	0,007
10.	Niedalino	–	0,002	0,006
11.	Nielisz	–	0,176	0,006
12.	Pierzchały	–	0,021	0,013
13.	Poraj	0,025	0,002	0,004
14.	Przeczyce	0,027	0,021	0,008
15.	Rosnowo	–	0,021	0,006
16.	Rybnik	0,023	0,021	0,032
17.	Siemianówka	–	0,002	0,001
18.	Słupca	–	0,002	0,002
19.	Strzegomino	–	0,021	0,014
20.	Sulejów	0,014	0,002	0,004
21.	Turawa	0,097	0,006	0,051
22.	Wióry	–	0,176	0,057
23.	Zemborzyce	–	0,070	0,003
24.	Żur	–	0,002	0,004

Jak wynika z analizy danych zawartych w tab. 5, 6 i 7 dwa wskaźniki charakteryzujące denudację zlewni ustalone na drodze teoretycznych uogólnień często bardzo się od siebie różnią – w skrajnych (trzech) przypadkach kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt razy. Weryfikację ich poprawności stanowi, tam gdzie było to możliwe do obliczenia (były wyniki pomiarów batymetrycznych), wskaźnik zamulenia. Na 28 zlewni zbiorników tylko w 2 przypadkach (nizinne zbiorniki Jeziorsko i Rybnik) występuje pełna zgodność wszystkich trzech wskaźników. W 8 przypadkach można przyjąć, że obliczone wskaźniki zamulenia są zbliżone do ilościowego wskaźnika denudacji (6 zbiorników karpaccich i 2 nizinne), a w 5 – do wskaźnika denudacji odpływowej (1 zbiornik nizinny, 2 karpaccie i 2 sudeckie). Natomiast w 5 przypadkach wskaźniki te różnią się od siebie diametralnie, a dotyczy to zbiorników: Koronowo, Poraj, Goczałkowice, Klimkówka i Dobromierz. Należy zauważyć, że wskaźnik zamulenia obliczony dla każdego z tych zbiorników jest wie-

lokrotnie wyższy od dwóch pozostałych. Generalizując, można założyć, że obliczone w tab. 6 i 7 wielkości zamulenia zbiorników są zaniżone. Wskazuje to na potrzebę pilnego wykonania pomiarów batymetrycznych na tych 21 zbiornikach.

Tab. 6. Wskaźniki charakteryzujące denudację zlewni zbiorników karpackich

Lp.	Nazwa zbiornika	Wskaźnik zamulania (na podstawie pomiarów batymetrycznych)	Ilościowy wskaźnik denudacji (wg Reniger i Dębskiego)	Wskaźnik denudacji odpływowej (wg Atlasu hydrologicznego)
			(mm/rok)	
1	2	3	4	5
1.	Besko	0,159	0,176	0,049
2.	Czchów	0,210	0,384	0,089
3.	Czorsztyn	–	0,381	0,149
4.	Dobczyce	0,449	0,384	0,157
5.	Goczałkowice	0,325	0,033	0,040
6.	Klimkówka	0,290	0,244	0,145
7.	Łąka	0,272	0,021	0,008
8.	Myczkowce	0,041	0,421	0,049
9.	Porąbka	0,113	0,311	0,068
10.	Rożnów	0,267	0,384	0,102
11.	Solina	0,023	0,421	0,061
12.	Sromowce Wyżne	–	0,311	0,149
13.	Tresna	0,171	0,428	0,137
14.	Wisła Czarne	0,379	0,311	0,010

Tab. 7. Wskaźniki charakteryzujące denudację zlewni zbiorników sudeckich

Lp.	Nazwa zbiornika	Wskaźnik zamulania (na podstawie pomiarów batymetrycznych)	Ilościowy wskaźnik denudacji (wg Reniger i Dębskiego)	Wskaźnik denudacji odpływowej (wg Atlasu hydrologicznego)
			(mm/rok)	
1	2	3	4	5
1.	Bukówka	0,293	0,176	0,018
2.	Dobromierz	0,112	0,025	0,011
3.	Kozielno	–	0,041	0,046
4.	Leśna	0,040	0,311	0,020
5.	Lubachów	0,083	0,239	0,011
6.	Mietków	–	0,011	0,011
7.	Nysa	–	0,360	0,046
8.	Otmuchów	0,079	0,425	0,032
9.	Pilchowice	0,017	0,316	0,020
10.	Słup	–	0,021	0,008
11.	Sosnówka	–	0,021	0,020
12.	Topola	–	0,457	0,029
13.	Złotniki	0,111	0,311	0,020

Ze względu na konieczność podsumowania strat pojemności wszystkich zbiorników rozpatrywanych w zadaniu 8 projektu KLIMAT, do dalszych obliczeń przyjęto wartość 16,94 mln m<sup>3</sup>, tj. średnią wynikającą z podsumowania kolumny 11 w tab. 3 i 4.

Reasumując, można stwierdzić z dużym prawdopodobieństwem, że 49 analizowanych zbiorników, o łącznej objętości wyjściowej –2 682,33 mln m<sup>3</sup>, w czasie eksploatacji, której średni czas wyniósł 45 lat, straciły na skutek procesów akumulacji w nich rumowiska 168,18 mln m<sup>3</sup>, co stanowi ponad 6% ich pojemności. Daje to średnią roczną stratę pojemności 3,737 mln m<sup>3</sup>, a więc wielkość bardzo istotną dla gospodarki wodnej kraju. Charakteryzuje ona stopień degradacji ilościowej rozpatrywanych zbiorników retencyjnych. Dwa pozostałe zbiorniki, tj. Mietków i Nysa łącznie powiększyły swoją pojemność z 182,80 mln m<sup>3</sup> do 200,42 mln m<sup>3</sup>, co jest efektem intensywnego wydobywania z nich kruszywa. Podana powyżej roczna strata pojemności jest tym bardziej dotkliwa, że jak wykazały analizy krzywych pojemności, wykresów strat pojemności przy różnych napełnieniach oraz planów batymetrycznych zbiorników, ponad 50% akumulowanego rumowiska osadza się w górnych partiach zbiorników, w strefach wahań stanów wody i zmniejsza tym samym ich rezerwy przeciwpowodziowe oraz warstwy użyteczne.

Objęte badaniami zbiorniki są usytuowane w różnych regionach Polski, a co za tym idzie – w różnych warunkach geomorfologicznych, hydrologicznych itp. oraz mają różnie zagospodarowane zlewnie. Są zamulane z różną intensywnością. W zależności od wielkości tego wskaźnika, obiekty dla których dysponowano wynikami pomiarów terenowych, podzielono na trzy grupy.

- Grupa I – zbiorniki intensywnie zamulane, których średnie roczne zamulenie jest większe od 200 tys. m<sup>3</sup>/rok. Warunek ten spełnia zbiornik Rożnów, dla którego wartość ta waha się od 2150 tys. m<sup>3</sup>/rok do 470 tys. m<sup>3</sup>/rok i wynosi średnio 1298 tys. m<sup>3</sup>/rok oraz zbiornik Dobczyce – 345 tys. m<sup>3</sup>/rok.
- Grupa II – zbiorniki zamulane ze średnią intensywnością, zawierającą się w przedziale od 200 do 100 tys. m<sup>3</sup>/rok. Warunek ten spełniają zbiorniki: Goczałkowice, Koronowo, Otmuchów, Solina, Tresna i Turawa.
- Grupa III – zbiorniki zamulane z małą intensywnością, tj. mniejszą od 100 tys. m<sup>3</sup>/rok. Należą do nich: Besko, Bukówka, Chańcza, Czchów, Dobromierz, Jeziorsko, Klimkówka, Kozłowa Góra, Leśna, Lubachów, Łąka, Myczkowce, Pilchowice, Poraj, Porąbka, Przeczyce, Rybnik, Sulejów, Wisła Czarne i Złotniki.

Warto tu jednak podkreślić, że wpływ na intensywność zamulania zbiornika ma oczywiście nie tylko jego geograficzne położenie, lecz także czynniki, takie jak sposób gospodarowania na nim wodą, geometria jego czaszy oraz konstrukcja urządzeń spustowych.

Do oceny stopnia degradacji polskich zbiorników retencyjnych istotnych informacji dostarczyły badania jakości akumulowanych w nich osadów. Są one bardzo zróżnicowane pod względem zawartości materii organicznej, biogenów oraz metali głównych, które determinują procesy sorpcji zarówno metali ciężkich,



jak i zanieczyszczeń organicznych. Porównanie ich zawartości w osadach badanych zbiorników zestawiono w tab. 8 .

Tab. 8. Zawartość materii organicznej, biogenów oraz żelaza i manganu w osadach dennych zbiorników retencyjnych

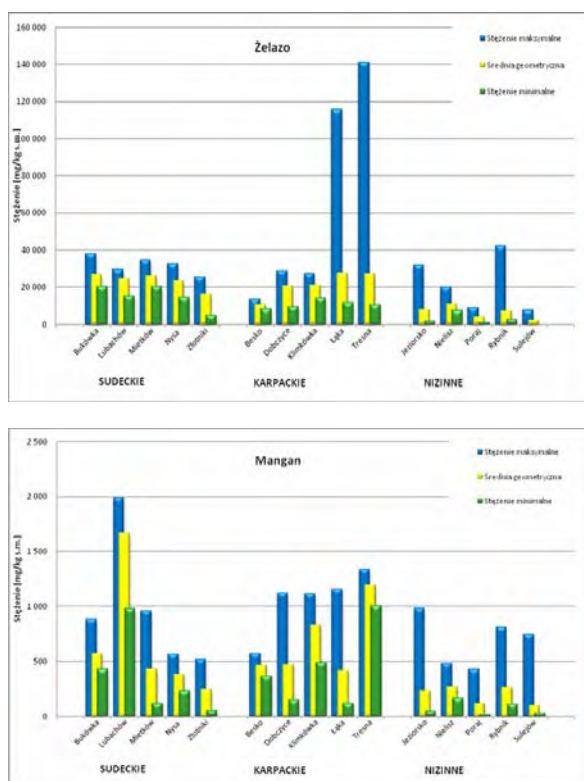
Wskaźnik	Zakresy stężeń i wartość średniej geometrycznej (%)			
	Wszystkie zbiorniki	Zbiorniki sudeckie	Zbiorniki karpackie	Zbiorniki nizinne
Materia organiczna	0,3–69,1	1,4–17,0	1,5–23,7	0,3–69,1
	5,7	8,6	6,8	3,2
Żelazo (Fe)	0,06–14,1	0,48–3,82	0,84–14,1	0,06–4,23
	1,43	2,26	21,9	0,57
Mangan (Mn)	0,002–0,20	0,005–0,20	0,01–0,13	0,002–0,10
	0,04	0,05	0,07	0,02
Azot (N)	0,006–0,18	0,01–0,14	0,01–0,09	0,006–0,18
	0,04	0,05	0,04	0,03
Fosfor (P)	0,001–0,49	0,03–0,33	0,02–0,49	0,001–0,18
	0,05	0,09	0,06	0,02

Na podstawie średniej geometrycznej, która najlepiej charakteryzuje przeciętny poziom stężenia w określonym zbiorze próbek i na którą najmniejszy wpływ mają wartości ekstremalne stwierdzono, że w osadach dennych zbiorników sudeckich występują najwyższe przeciętne zawartości materii organicznej oraz biogenów natomiast w zbiornikach karpackich, żelaza i manganu – rys. 1. Najniższe przeciętne stężenia analizowanych wskaźników występują w osadach dennych zbiorników nizinnych. W tej grupie wyróżniają się Nielisz i Poraj, w których oznaczono maksymalne stężenia materii organicznej oraz fosforu ogólnego dla wszystkich zbiorników.

Odczyn pH, parametr fizykochemiczny, który decyduje o mobilności metali ciężkich w osadach, był oznaczony w zakresach:

- dla wszystkich zbiorników: 5,6–7,7;
- dla zbiorników sudeckich: 5,6–7,0;
- dla zbiorników karpackich: 5,9–7,7;
- dla zbiorników nizinnych: 6,8–7,6.

Najmniejsze wartości pH występują w osadach dennych zbiorników sudeckich ( $\leq 7$ ). Ich kwaśny odczyn powoduje dużą mobilność skumulowanych w nich metali ciężkich, które mogą być uwalniane do wody. Największe przeciętne zawartości wapnia i magnezu stwierdzono w osadach dennych zbiorników karpackich. Najwyższe stężenia wapnia i magnezu oznaczono w osadach dennych zbiornika Besko, a spośród zbiorników nizinnych – zbiornika Nielisz.



Rys. 1. Wartości charakterystycznych stężeń żelaza i manganu w osadach dennych zbiorników retencyjnych

Metale ciężkie występowały w osadach dennych badanych zbiorników w bardzo zróżnicowanych stężeniach. Ich zakresy dla wszystkich zbiorników były bardzo szerokie, od wartości minimalnych  $< 0,01$  mg/kg s.m. do maksymalnych na poziomie kilku – kilkuset mg/kg s.m. (z wyjątkiem rtęci, dla której maksymalne stężenie wynosiło  $0,98$  mg/kg s.m.). Zakresy stężeń poszczególnych metali ciężkich oraz wartości średnich geometrycznych w osadach badanych zbiorników retencyjnych zamieszczono w tab. 9.

Na podstawie średnich geometrycznych stężeń stwierdzono, że najbardziej zanieczyszczone metalami ciężkimi (z wyjątkiem niklu i rtęci) są osady dennie zbiorników sudeckich, a w tej grupie zbiorniki Lubachów i Złotniki, a następnie Bukówka. Najniższe przeciętne stężenia metali ciężkich oznaczano w osadach dennych zbiorników nizinnych. Najmniej zanieczyszczone metalami ciężkimi są osady dennie Jeziorska i Sulejowa. Zawartości arsenu, kadmu, ołowiu i rtęci w osadach rozpatrywanych zbiorników pokazano na rys. 2 i 3.

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) występowały w osadach dennych badanych zbiorników retencyjnych w zakresie stężeń od  $< 0,0001$  mg/kg s.m. do kilku mg/kg s.m. (tab. 10). Znaczące stężenia WWA występowały głównie w osadach zbiorników sudeckich, a w tej grupie – w zbiorniku Lubachów,

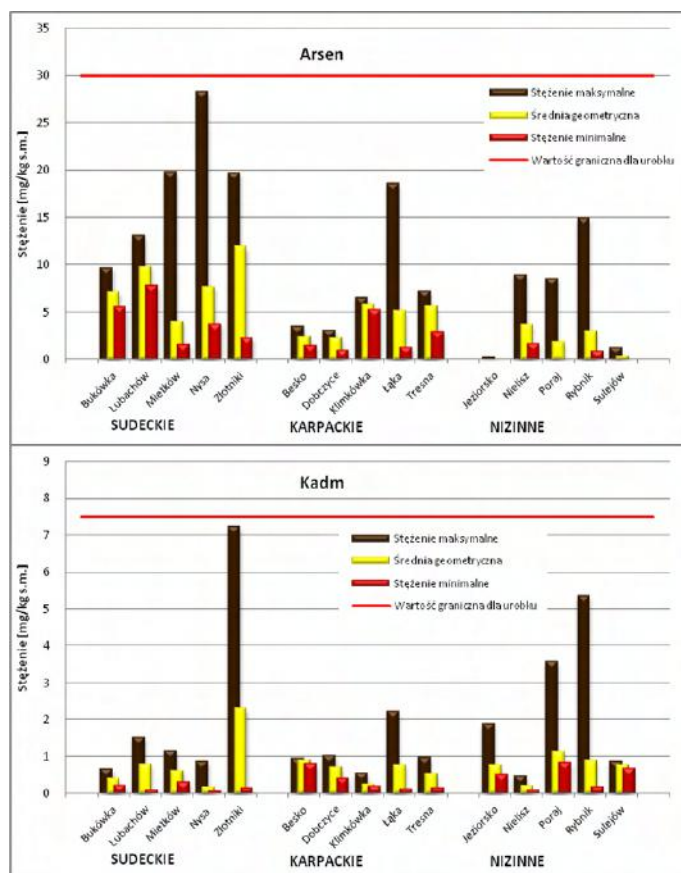
a następnie Złotniki. Na podstawie wartości średnich geometrycznych stężeń stwierdzono, że najbardziej zanieczyszczone WWA są osady zbiorników sudeckich, a najmniej – zbiorników nizinnych.

Tab. 9. Zawartość metali ciężkich w osadach dennych badanych zbiorników retencyjnych

Metal	Zakresy stężeń i średnia geometryczna (mg/kg s.m.)			
	Wszystkie zbiorniki	Zbiorniki sudeckie	Zbiorniki karpackie	Zbiorniki nizinne
Arsen	0,02–28,3	1,66–28,3	1,02–18,6	0,02–15,0
	3,18	7,93	4,19	0,94
Chrom	< 0,01–113,2	4,47–113,2	2,31–110,0	0,01–34,2
	13,95	30,9	19,0	2,32
Cynk	0,19–422,5	14,7–422,5	19,9–157,0	0,19–260,0
	59,6	118,9	72,2	24,3
Kadm	0,08–72,4	0,08–7,24	0,14–2,23	0,10–5,37
	0,64	0,67	0,58	0,67
Miedź	< 0,01–327,2	4,11–327,2	2,29–40,5	< 0,01–50,1
	8,99	28,4	13,5	1,84
Nikiel	< 0,01–91,3	4,07–56,8	2,14–91,3	< 0,01–23,7
	8,62	20,2	24,4	1,21
Ołów	0,08–478,9	4,33–478,9	4,57–58,6	0,08–65,2
	23,1	52,2	22,9	10,3
Rtęć	< 0,01–0,98	< 0,01–0,98	0,01–0,65	< 0,01–0,61
	0,13	0,17	0,18	0,07

Związki chloroorganiczne: PCB oraz pestycydy chloroorganiczne występowały w osadach dennych badanych zbiorników retencyjnych w bardzo niskich stężeniach. Polichlorowane bifenyle (PCB) oznaczano w zakresie od < 0,0001 mg/kg s.m. do 0,7808 mg/kg s.m. Średnie geometryczne stężenia w poszczególnych grupach zbiorników wynosiły: dla wszystkich zbiorników 0,0010 mg/kg s.m., dla zbiorników sudeckich 0,0015 mg/kg s.m., dla zbiorników karpackich 0,0009 mg/kg s.m., dla zbiorników nizinnych 0,0007 mg/kg s.m. Największe wartości średnich geometrycznych stężeń PCB stwierdzono w osadach dennych zbiorników: Lubachów, Złotniki i Bukówka (zbiorniki sudeckie) oraz Tresna (zbiornik karpacki) i Rybnik (zbiornik nizinny).

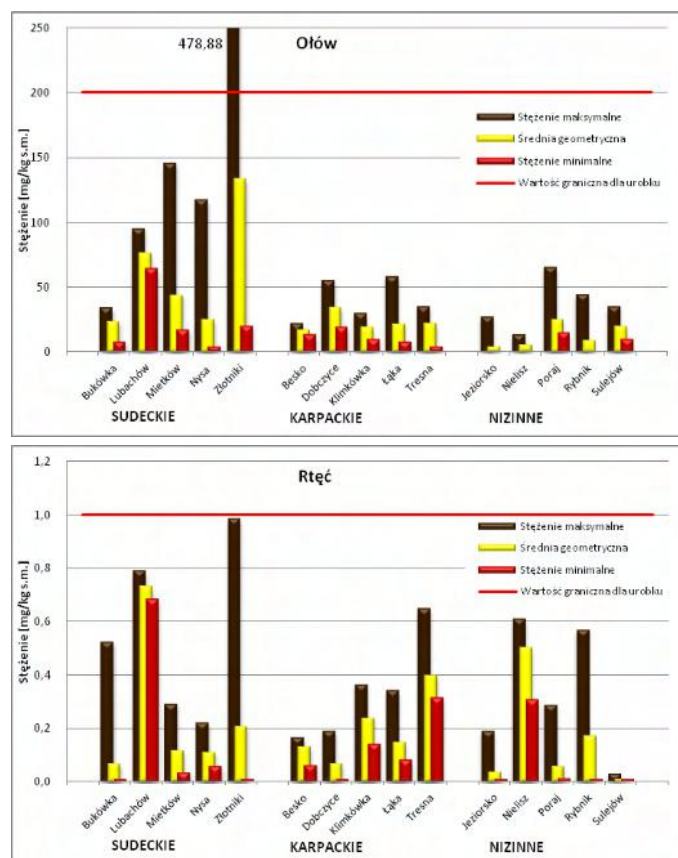
Wartości średnich geometrycznych stężeń pestycydów chloroorganicznych w osadach dennych wszystkich badanych zbiorników retencyjnych mieściły się w zakresie od < 0,0002 mg/kg s.m. do 0,0060 mg/kg s.m. Spośród oznaczanych sześciu pestycydów, w najwyższych stężeniach występowało DDT i jego metabolity (DDD i DDE) w osadach zbiorników Lubachów i Złotniki (zbiorniki sudeckie). Nie stwierdzono obecności dieldryny i endryny w osadach badanych zbiorników.



Rys. 2. Wartości charakterystycznych stężeń arsenu i kadmu w osadach dennych zbiorników retencyjnych

Przeanalizowano wyniki oznaczania wskaźników jakości osadów dennych uzyskane dla wszystkich badanych zbiorników retencyjnych i utworzono ich histogramy. Pozwalają one stwierdzić, jaki zakres stężenia oznaczanego wskaźnika występuje w określonej liczbie (%) próbek osadów dennych badanych zbiorników. Dla metali ciężkich stwierdzono, że stężenia poniżej tła geochemicznego oznaczono:

- dla arsenu – w ok. 50% próbek (< 0,5 mg/kg s.m.);
- dla chromu – w ok. 28% próbek (< 6 mg/kg s.m.);
- dla cynku – w ok. 49% próbek (< 73 mg/kg s.m.);
- dla kadmu – w ok. 32% próbek (< 0,5 mg/kg s.m.);
- dla miedzi – w ok. 28% próbek (< 6 mg/kg s.m.);
- dla niklu – w ok. 26% próbek (< 5 mg/kg s.m.);
- dla ołowiu – w ok. 23% próbek (< 15 mg/kg s.m.);
- dla rtęci – w ok. 21% próbek (< 0,05 mg/kg s.m.).



Rys. 3. Wartości charakterystycznych stężeń ołowiu i rtęci w osadach dennych zbiorników retencyjnych

Ocenę zanieczyszczenia osadów dennych zbiorników retencyjnych wykonano przez porównanie wartości średnich geometrycznych stężeń oznaczanych substancji zanieczyszczających, obliczonych dla grup zbiorników, z wartościami granicznymi przyjętymi w klasyfikacji osadów jako urobku, wg standardów jakości gleby lub ziemi oraz w klasyfikacji geochemicznej.

W tabelach, obok parametrów statystycznych oznaczanych stężeń, zamieszczono wartości graniczne stężeń metali, WWA, PCB i pestycydów chloroorganicznych, których obecność w osadzie klasyfikuje go jako urobek zanieczyszczony. Wartości średnich geometrycznych stężeń obliczonych dla badanych zbiorników oraz dla grup zbiorników sudeckich, karpackich i nizinnych nie osiągnęły dla żadnego z analizowanych wskaźników stężenia granicznego podanego w *rozporządzeniu MS* [Rozporządzenie...2002a] oraz w projekcie tego rozporządzenia. Na podstawie wartości średnich geometrycznych stężeń zanieczyszczeń w osadach dennych badanych zbiorników: sudeckich, karpackich i nizinnych, można stwierdzić, że jako urobek nie są one zanieczyszczone.

Tab. 10. Zawartość WWA w osadach dennych zbiorników retencyjnych

Wskaźnik (WWA)	Zakresy stężeń i średnia geometryczna (mg/kg s.m.)			
	Wszystkie zbiorniki	Zbiorniki sudeckie	Zbiorniki karpackie	Zbiorniki nizinne
Benzo(a)antracen	< 0,0001–7,4599	0,0001–7,4599	0,0030–0,3402	< 0,0001–0,1758
	0,0255	0,1225	0,0253	0,0054
Benzo(b)fluoranten	< 0,0001–4,7419	0,0002–4,7419	0,0031–0,2340	< 0,0001–0,1609
	0,0258	0,1190	0,0257	0,0056
Benzo(k)fluoranten	< 0,0001–7,1984	0,0001–7,1984	0,0015–0,3077	< 0,0001–0,1804
	0,0192	0,0981	0,0196	0,0037
Benzo(ghi)terylen	< 0,0001–4,5164	< 0,0001–4,5164	0,0013–0,1503	< 0,0001–0,1142
	0,0175	0,0693	0,0165	0,0047
Benzo(a)piren	< 0,0001–7,4360	< 0,0001–7,4360	0,0042–0,2861	< 0,0001–0,1770
	0,0286	0,1231	0,0281	0,0068
Dibenzo(a,h)antracen	< 0,0001–0,5737	< 0,0001–0,5737	0,0004–0,0410	< 0,0001–0,0661
	0,0056	0,0179	0,0049	0,0020
Indeno(1,2,3-cd)piren	0,0001–4,4572	0,0003–4,4572	0,0037–0,1146	0,0001–0,1222
	0,0251	0,0906	0,0209	0,0085

Ocenę jakości osadów dennych zbiorników retencyjnych wykonano wg kryteriów dla grup zagospodarowania gleby i ziemi zgodnie z *rozporządzeniem MS* [Rozporządzenie...2002a], pod względem zawartości metali ciężkich, WWA i związków chloroorganicznych, na podstawie wartości średnich geometrycznych stężeń obliczonych dla grup zbiorników. Stwierdzono, że pod względem zawartości metali ciężkich osady denne zbiorników karpackich i nizinnych odpowiadają

Tab. 11. Ocena jakości osadów dennych zbiorników retencyjnych na podstawie wartości średnich geometrycznych stężeń wg kryteriów dla poszczególnych grup zagospodarowania gleby i ziemi pod względem zawartości metali ciężkich

Metale	Rodzaj gleby			Zbiorniki retencyjne			
	A	B	C	Wszystkie	Sudeckie	Karpackie	Nizinne
	mg/kg s.m.						
Arsen	20	20	60	3,18	7,93	4,19	0,94
Chrom	50	150	500	11,22	30,87	19,02	2,32
Cynk	100	300	1000	59,58	118,85	72,24	24,29
Kadm	1	4	15	0,64	0,67	0,58	0,67
Miedź	30	150	600	8,99	28,41	13,45	1,84
Nikiel	35	100	300	8,62	20,16	24,36	1,21
Ółów	50	100	600	23,08	52,23	22,94	10,27
Rtęć	0,5	2	30	0,13	0,17	0,18	0,07

glebom obszarów chronionych (grupa A). Osady denne zbiorników sudeckich, ze względu na zanieczyszczenie cynkiem i ołowiem, odpowiadają glebom grupy B, co przykładowo pokazano w tab. 11. Pod względem zawartości WWA osady denne zbiorników: sudeckich – odpowiadają glebom grupy C i mogą być wykorzystywane tylko na obszarach upraw przemysłowych; karpackich – odpowiadają glebom grupy B; nizinnych – odpowiadają glebom grupy A. Pod względem zawartości PCB, osady denne wszystkich zbiorników retencyjnych odpowiadają glebom obszarów chronionych (grupa A). Pod względem zawartości pestycydów chloroorganicznych osady zbiorników sudeckich odpowiadają glebom grupy C ze względu na zanieczyszczenie lindanem. Pestycyd ten powoduje również zakwalifikowanie osadów dennych zbiorników karpackich i nizinnych do gleb grupy B.

Wyniki klasyfikacji geochemicznej osadów dennych zbiorników retencyjnych na podstawie wartości średnich geometrycznych stężeń, pod względem zawartości metali ciężkich, WWA i związków chloroorganicznych, zamieszczono w tabelach. Jedną z nich jest tab. 12, dotycząca stężeń metali ciężkich.

Tab. 12. Klasyfikacja geochemiczna osadów dennych zbiorników retencyjnych na podstawie wartości średnich geometrycznych stężeń, pod względem zawartości metali ciężkich

Metale	Klasy				Zbiorniki retencyjne			
	I	II	III	IV	Wszystkie	Sudeckie	Karpackie	Nizinne
	mg/kg s.m.							
Arsen	7	30	70	> 70	3,18	7,93	4,19	0,94
Chrom	50	100	400	> 400	11,22	30,87	19,02	2,32
Cynk	125	300	1000	> 1000	59,58	118,83	72,24	24,29
Kadm	0,7	3,5	6	> 6	0,64	0,67	0,58	0,67
Miedź	20	100	300	> 300	8,99	28,41	13,45	1,84
Nikiel	16	40	50	> 50	8,62	20,16	24,36	1,21
Ołów	30	100	200	> 200	23,08	52,23	22,94	10,27
Rtęć	0,2	0,7	0,7	> 0,7	0,13	0,17	0,18	0,07

Według powyższych kryteriów wykonano również ocenę zanieczyszczenia osadów dennych każdego z badanych zbiorników retencyjnych. Przyjęto dla całego zbiornika wartość średnią geometryczną stężeń substancji zanieczyszczających: metali ciężkich, WWA, PCB i pestycydów chloroorganicznych. Wyniki zamieszczono w tabelach.

Ocena każdego z badanych zbiorników wykazała, że:

- w grupie zbiorników sudeckich osady zanieczyszczone, wg kryteriów dla urobku, zalegają w zbiornikach Bukówka, Złotniki i Lubachów (tab. 13); wg standardów jakości gleby i ziemi są to osady odpowiadające grupie C, a według kryteriów geochemicznych klasyfikują się do klasy IV (Lubachów



i Złotniki) oraz do klasy III (Bukówka); osady pozostałych zbiorników sudectkich: Mietkowa i Nysy nie są zanieczyszczone.

Tab. 13. Ocena zanieczyszczenia osadów dennych zbiornika Lubachów

Substancja	Jednostka	Wartość średnia geometryczna stężeń dla całego zbiornika	Ocena		
			wg rozp. MŚ z dn. 16.04.2002 r. – urobek	wg rozp. MŚ z dn. 09.09.2002 r, – standardy jakości gleby oraz ziemi	wg klasyfikacji geochemicznej PIG
Metale ciężkie					
Arsen	mg/kg s.m.	9,8	niezanieczyszczony	A	II
Chrom		41,1	niezanieczyszczony	A	I
Cynk		288,7	niezanieczyszczony	B	II
Kadm		0,8	niezanieczyszczony	A	II
Miedź		79,3	niezanieczyszczony	B	II
Nikiel		27,1	niezanieczyszczony	A	II
Ołów		76,5	niezanieczyszczony	B	II
Rtęć		0,73	niezanieczyszczony	B	IV
WWA					
Benzo(a)antracen	µg/kg s.m.	2739,8	zanieczyszczony	C	IV
Benzo(b)fluoranten		2333,2	zanieczyszczony	–	III
Benzo(k)fluoranten		2519,9	zanieczyszczony	–	III
Benzo(ghi)perylene		1794,3	zanieczyszczony	C	IV
Benzo(a)piren		2725,7	zanieczyszczony	C	IV
Dibenzo(a,h)antracen		322,6	niezanieczyszczony	–	IV
Indeno(1,2,3-cd)piren		1380,7	zanieczyszczony	–	IV
Związki chloroorganiczne					
PCB	µg/kg s.m.	5,2	niezanieczyszczony	A	I
Lindan		2,9	zanieczyszczony	C	III
Epoksyd heptachloru		< 0,2	niezanieczyszczony	–	I
DDE		4,6	niezanieczyszczony	B	II
Dieldryna		< 0,2	niezanieczyszczony	A	I
Endryna		< 0,2	niezanieczyszczony	A	I
DDD		27,3	zanieczyszczony	C	III
DDT		13,5	zanieczyszczony	B	III

- w grupie zbiorników karpaccich, wg kryteriów dla urobku, osady dennie we wszystkich zbiornikach nie są zanieczyszczone; wg standardów jakości gleby lub ziemi do grupy C kwalifikują się osady zbiornika Besko (ze względu na zawartość benzo(a)piranu) oraz zbiornika Tresna (ze względu na zawartość



benzo(a)antracenu i benzo(a)pirenu); wg kryteriów geochemicznych osady zanieczyszczone klasy IV występują w zbiorniku Klimkówka (ze względu na zawartość niklu). Osady zbiorników Dobczyce i Łąka nie są zanieczyszczone.

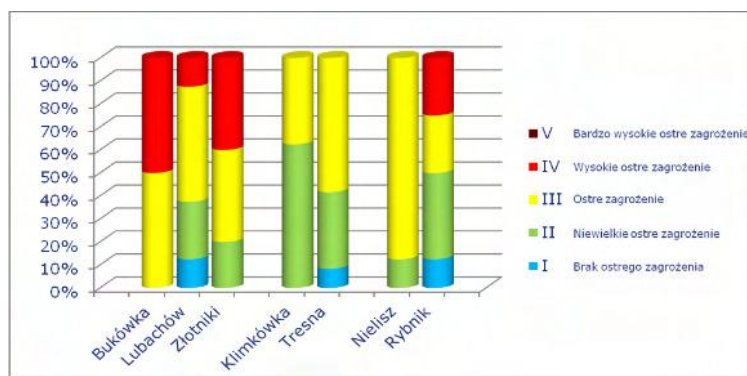
- w grupie zbiorników nizinnych, wg kryteriów w przyjętych metodach oceny, osady denne nie są zanieczyszczone, czego przykładem może być zbiornik Nielisz (tab. 14).

Tab. 14. Ocena zanieczyszczenia osadów dennych zbiornika Nielisz

Substancja	Jednostka	Wartość średnia geometryczna stężeń dla całego zbiornika	Ocena		
			wg rozp. MŚ z dn. 16.04.2002 r. – urobek	wg rozp. MŚ z dn. 09.09.2002 r. – standardy jakości gleby oraz ziemi	wg klasyfikacji geochemicznej PIG
Metale ciężkie					
Arsen	mg/kg s.m.	3,8	niezanieczyszczony	A	I
Chrom		10,6	niezanieczyszczony	A	I
Cynk		33,7	niezanieczyszczony	A	I
Kadm		0,2	niezanieczyszczony	A	I
Miedź		5,2	niezanieczyszczony	A	I
Nikiel		8,8	niezanieczyszczony	A	I
Ołów		5,9	niezanieczyszczony	A	I
Rtęć		0,5	niezanieczyszczony	A	II
WWA					
Benzo(a)antracen	µg/kg s.m.	12,5	niezanieczyszczony	A	I
Benzo(b)fluoranten		16,7	niezanieczyszczony	–	I
Benzo(k)fluoranten		16,0	niezanieczyszczony	–	I
Benzo(ghi)perylene		13,9	niezanieczyszczony	A	I
Benzo(a)piren		17,0	niezanieczyszczony	A	I
Dibenzo(a,h)antracen		6,9	niezanieczyszczony	–	I
Indeno(1,2,3-cd)piren		14,8	niezanieczyszczony	–	I
Związki chloroorganiczne					
PCB	µg/kg s.m.	2,0	niezanieczyszczony	A	I
Lindan		0,3	niezanieczyszczony	B	I
Epoksyd heptachloru		< 0,2	niezanieczyszczony	–	I
DDE		1,2	niezanieczyszczony	A	I
Dieldryna		< 0,2	niezanieczyszczony	A	I
Endryna		< 0,2	niezanieczyszczony	A	I
DDD		0,6	niezanieczyszczony	A	I
DDT		0,2	niezanieczyszczony	A	I

Istnieje uzasadnione przypuszczenie, że toksyczny wpływ na organizmy żywe mogą mieć substancje, które nie są objęte zakresem badań chemicznych. W związku z tym uważa się, że badania ekotoksycologiczne powinny być dodatkiem do badań chemicznych, dzięki czemu jest możliwa pełniejsza ocena ryzyka, jakie stanowią osady dla ekosystemów wodnych i lądowych. Z tego powodu przeanalizowano również aktywność biologiczną osadów pochodzących z 62 próbek pobranych z dna 7 zbiorników. Przeprowadzono trzy laboratoryjne testy oceny ekotoksyczności z wykorzystaniem: bakterii, skorupiaków oraz roślin wyższych. Dzięki temu była możliwa ocena wpływu osadów na trzy podstawowe grupy organizmów: reducentów, konsumentów i producentów. Osad denny oraz gleba są bardzo zróżnicowanymi matrycami, a ich aktywność biologiczna zależy od obecności substancji toksycznych zarówno rozpuszczalnych, jak i nierozpuszczalnych w wodzie. Ważną rolę odgrywa także nietoksyczna materia organiczna, która może zmieniać biodostępność substancji toksycznych przez wiązanie, kompleksowanie, ale także zwiększenie ich rozpuszczalności w wodzie. Dla roślin istotne są substancje odżywcze (biogenne), których wpływ na wzrost może w pewnym stopniu kompensować działanie toksyczne.

W analizie zastosowano system kwalifikacji dzielący wyniki z poszczególnych testów na 4 klasy toksyczności: próbki nietoksyczne, niskotoksyczne, toksyczne oraz bardzo toksyczne, a następnie przyporządkowujący próbki do 5 klas zagrożeń. Przeprowadzone badania biologiczne i chemiczne tych samych próbek osadów dennych wykazały, że największy wpływ na ich toksyczność ma obecność metali ciężkich, a w niektórych przypadkach również WWA. Zawartość PCB i pestycydów chloroorganicznych była mniej istotna.



Rys. 4. Ekotoksyczność osadów – udział klas zagrożeń osadów dennych zbiorników

Spośród badanych próbek jedynie trzy okazały się nietoksyczne dla wszystkich wykorzystanych organizmów. Kolejne 9 zostało zakwalifikowane do klasy II; stanowią one niewielkie zagrożenie dla organizmów żywych. Połowa prób badanych osadów trafiła do III klasy zagrożenia, a jednaście zostało zakwalifikowanych do IV klasy (wysokie ostre zagrożenie). Pochodziły przede wszystkim ze

zbiorników Bukówka oraz Złotniki, ale także – Rybnik i Lubachów. Osady te mogą zagrażać środowisku przyrodniczemu. Procentowy udział poszczególnych klas zagrożeń osadów przedstawiono w postaci histogramu – rys. 4.

Żadna z badanych 62 próbek osadów dennych nie wpływała ujemnie na siłę kiełkowania roślin testowych. Jedna trzecia próbek stymulowała wzrost rzeżuchy, co może świadczyć o dużej zawartości substancji biogennej i możliwości zastosowania tych osadów w celach przyrodniczych. Jednocześnie jednak, przy podejmowaniu decyzji o przyrodniczym wykorzystaniu osadów, należy uwzględnić ich wpływ na inne grupy organizmów. Zarówno mikroorganizmy, jak i bezkręgowce odgrywają bardzo ważną rolę w ekosystemach glebowych. Dlatego negatywny wpływ nawożenia na te grupy organizmów może doprowadzić do degradacji środowiska glebowego. Najsilniejsze działanie stymulujące miały osady ze zbiornika Tresna. Trzy próbki spowodowały silny wzrost korzeni, przy jednoczesnym braku toksyczności dla pozostałych bioindykatorów, natomiast dwie próbki działały stymulująco na rośliny, a jednocześnie były toksyczne dla bakterii, co ogranicza możliwość ich stosowania w środowisku przyrodniczym.

Należy pamiętać, że testy ekotoksyczności nie są dotychczas zawarte w żadnych regulacjach prawnych dotyczących próbek środowiskowych. Stanowią cenne narzędzie oceny biologicznej aktywności próbek, a ich wyniki są wskazówkami odnośnie do dalszych analiz chemicznych, a także postępowania z badanym materiałem.

W projekcie KLIMAT rozpatrywano trzy podstawowe scenariusze rozwoju społeczno-gospodarczego, rzutujące na zmiany klimatu. Do opracowywania prognoz w perspektywie dwóch okresów, tj. od 2011 do 2030 r. oraz od 2070 do 2100 r., przyjęto scenariusze zakładające:

- A1B – wysoki globalny wzrost gospodarczy,
- A2 – regionalny rozwój gospodarczy,
- B1 – globalny rozwój zrównoważony.

Jeśli chodzi o elementy klimatu, które mogą mieć w przyszłości wpływ na aspekt ilościowy zjawiska zamulania polskich zaporowych zbiorników retencyjnych, to prognozowane są następujące zmiany:

- przewiduje się, że na koniec XXI w. w Polsce średnia temperatura powietrza wzrośnie o ok. 3°C,
- względne zmiany wielkości opadów w stosunku do okresu referencyjnego maksymalnie nie przekroczą 10%, z tym że dla wszystkich scenariuszy prognozuje się wzrost sumy opadów, a zmiany będą dotyczyć głównie rozkładu czasowego opadów, przy niewielkich zmianach średnich rocznych wartości.

Skutkiem przewidywanych zmian ma być to, że na koniec wieku średnie roczne przepływy w Polsce nie zwiększą się lub nie zmniejszą o więcej niż 20% w stosunku do lat 1961–1990. Nie przewiduje się też istotnych zmian zasobów wodnych. Nie powinny one przekroczyć  $\pm 10\%$  obecnych rocznych wartości. Jed-

nocześnie trzeba brać pod uwagę, że modele zmian klimatu bazują na wielu uproszczeniach i założeniach, w związku z czym wyniki są obciążone niepewnością.

Skala przewidywanych zmian elementów klimatu mogących mieć wpływ na zamulenie zbiorników w zestawieniu ze stopniem dokładności danych, dotyczących utraty pojemności, możliwych do uzyskania – jest niewspółmierna. Chodzi przede wszystkim o te zbiorniki, dla których nie wykonano dotychczas żadnych pomiarów batymetrycznych, a wiedza o przypuszczalnym tempie ich zamulania jest czerpana jedynie z obliczeń opartych na wartościach współczynników charakteryzujących podatność zlewni na denudację. Z tego powodu nie wydaje się właściwe formułowanie wniosków dotyczących wpływu, jaki zmiany klimatu mogą wywrzeć na zamulanie polskich zbiorników retencyjnych. Można jedynie stwierdzić, że przewidywany wzrost intensywności opadów będzie miał wpływ na większą powierzchniową denudację terenu, co przełoży się na szybszą utratę pojemności zbiorników retencyjnych. Wydaje się, że wzrost ten nie przekroczy jednak 5% dotychczasowego tempa utraty pojemności, tj. nie powinien być większy niż 200 tys. m<sup>3</sup> rocznie w rozpatrywanych 51 zbiornikach. Skutki tego będzie można zneutralizować przez działania przyrodnicze i inżynierskie na terenie zlewni, a także działania kompensacyjne. Istotny pozytywny wpływ będą miały także, widoczne już w dorzeczu Wisły, takie zjawiska, jak: zwiększenie lesistości, zmniejszenie areału gruntów ornych zamienianych na łąki, sady i plantacje oraz zmiany pokrycia terenu na Górnym Śląsku, wywołane rekultywacją obszarów eksploatacji odkrywkowej, zwałowisk i hałd.

Przewiduje się, że sygnalizowane zmiany elementów klimatu będą miały wpływ na jakość osadów akumulowanych w zbiornikach. Prognozowany wzrost średniej temperatury powietrza spowoduje wzrost temperatury wód powierzchniowych, a to z kolei przyczyni się do zmiany przebiegu procesów chemicznych, biochemicznych i biologicznych, zachodzących w środowisku wodnym, które w konsekwencji mogą spowodować zmianę jakości zarówno wód, jak i osadów dennych. W wyższej temperaturze wzrasta korozyjność wody, toksyczność metali ciężkich i substancji organicznych występujących w wodzie, zmiana może także ulec skład biocenozy, w tym gatunki ryb. Ponadto wzrost temperatury zmniejsza stopień asymilacji ścieków (tzn. przy wyższej temperaturze do odbiornika należy odprowadzać mniejszy ładunek zanieczyszczeń, aby utrzymać taką samą jakość wody, a więc należy oczyszczać ścieki w większym stopniu, co w konsekwencji podnosi koszty).

Jednym z najważniejszych wskaźników jakości wody jest stężenie tlenu rozpuszczonego. Jego obecność w wodzie świadczy o jej zdolności do samooczyszczania przez utlenienie substancji organicznych lub ich rozkład z udziałem bakterii tlenowych. Jego ilość zależy głównie od temperatury i spada wraz z jej wzrostem. Przy wykonywaniu obliczeń dla poszczególnych scenariuszy zauważono tendencję do wzrostu ilości tlenu zużywanego do mineralizacji zanieczyszczeń organicznych w wodach powierzchniowych. Reasumując, można wnioskować, że podwyższenie temperatury spowoduje m.in. zmniejszenie rozpuszczalności tlenu, przyspieszenie

rozkładu substancji organicznych i związany z tym wzrost zużycia tlenu, wzrost korozyjności wody, zwiększenie procesu eutrofizacji i nadmierną produkcję glonów, prowadzącą do wtórnego zanieczyszczenia wody i osadów, zwiększenie toksyczności substancji zanieczyszczających, w tym metali ciężkich i pestycydów oraz zmniejszenie zdolności asymilacji ścieków przez odbiorniki wodne.

Prognozowany wzrost sumy opadów dla przeważającej większości województw i wszystkich scenariuszy spowoduje zwiększenie spływu powierzchniowego, a w sposób pośredni wpłynie na pogorszenie jakości osadów dennych w zbiornikach w związku ze zwiększonym ładunkiem zanieczyszczeń i materii organicznej odprowadzanej do wód powierzchniowych z terenów zurbanizowanych i rolniczych. Wiąże się z tym również przewidywany wzrost ogólnej produkcji żyta, ziemniaka, buraka cukrowego, siana, jęczmienia jarego, pszenicy ozimej i jarej oraz kukurydzy w latach 2011–2030, objętych scenariuszami. W tej sytuacji istnieje duże prawdopodobieństwo wzrostu antropopresji rolniczej na środowisko wodne, co spowoduje intensyfikację procesu eutrofizacji wód m.in. zbiorników zaporowych, prowadzącą do pogorszenia jakości osadów dennych.

## Niezbędne działania

*Urszula Dmitruk, Jerzy Kloze, Edmund Sieński*

Jednym z bezspornych niedociągnięć gospodarki wodnej w Polsce jest niewystarczająca, do prowadzenia jej w sposób w pełni racjonalny, pojemność retencyjna zbiorników. Szacuje się, że deficyt wynosi ok. 6% średniego rocznego odpływu rzek polskich. Sytuację tę pogarsza zjawisko zamulania zbiorników. Działania prowadzące do poprawy tego stanu powinny, oprócz racjonalizacji zużycia wody i działań związanych z ochroną przeciwpowodziową, obrać następujące kierunki:

- ograniczenie tempa utraty pojemności zbiorników retencyjnych,
- odzyskiwanie utraconej w trakcie eksploatacji części pojemności zbiorników,
- budowa nowych zbiorników retencyjnych.

Ograniczenie tempa utraty pojemności zbiorników należy realizować przez działania:

- prowadzone na obszarze zlewni zamkniętej przekrojem, w którym usytuowana jest zaporę tworząca zbiornik,
- związane bezpośrednio ze zbiornikiem i jego otoczeniem, mające na celu zmniejszenie ilości rumowiska osadzającego się w czaszy.

W istniejącej sytuacji należy zintensyfikować w zlewniach zbiorników zarówno działania przyrodnicze, jak i inżynierskie. Z działań przyrodniczych priorytetem powinny być zalesienia, zakrzewienia i obsiew trawą; konieczne jest też dobieranie upraw do warunków lokalnych, a więc zabiegi zmniejszające w sposób naturalny denudację powierzchniową terenu. Niezbędne działania inżynierskie to:

- zabiegi wzmocniające stoki – zmniejszające erozję i możliwość zsuwów,
- korekcja progowa potoków górskich,
- budowa zapór tworzących zbiorniki przeciwrumowiskowe,
- zabudowa kaskadowa doprowadzalnika.

Tam gdzie jest to możliwe dobre efekty daje budowa, bezpośrednio powyżej zbiornika retencyjnego, małego zbiornika spełniającego funkcję wstępnego osadnika, czego przykładem mogą być zbiorniki Turawa i Łąka. Nie można też zaniedbywać działań związanych bezpośrednio ze zbiornikiem i jego otoczeniem, a w szczególności z przeciwdziałaniem erozji i abrazji brzegów. Podjęcie takich

kroków powinno być poprzedzane obserwacjami, a w koniecznych przypadkach badaniami tych zjawisk wg opracowanej w Polsce i sprawdzonej metodyki.

Jako integralne z powyższymi można rozważyć działania kompensujące już utraconą przez obiekt pojemność. Należą do nich: podwyższenie zapory (mało realne w polskich warunkach) i dalsza eksploatacja zbiornika, budowa nowej zapory, zaspokojenie potrzeb wodnych w danym regionie przez alimentację z sąsiednich zlewni oraz projektowanie zbiornika uwzględniające skutki zamulania, w horyzoncie czasowym interesującym eksploatorów.

Drugim kierunkiem działań mających na celu zwiększenie możliwości retencyjnych polskich zbiorników wodnych powinno być usuwanie nagromadzonych w nich osadów. W takich pracach należy uwzględnić czynniki procesu sedymentacji, które mają dla każdego ze zbiorników różny, indywidualny wpływ na intensywność i rozkład przestrzenny osadzonego rumowiska. Do czynników tych, oprócz wskaźników denudacji, należą m.in. geometria zbiornika (długość, szerokość, głębokość), hydrauliczne warunki przepływu osadów w obrębie zbiornika oraz położenie urządzeń upustowych, a zwłaszcza upustów dennych. W zależności od ilości oraz jakości osadów i namulów powstaje w obrębie czaszy zbiornika warstwa o różnej miąższości, zawierająca osady o różnej charakterystyce ziarnowej, o różnych cechach reologicznych i odmiennej erozyjności. Wszystkie te uwarunkowania decydują o stosowanej technologii usuwania osadów. Należy też uwzględnić sposób eksploatacji i funkcje zbiornika (zbiornik retencyjny, energetyczny, służący do zaopatrzenia w wodę itd.). Na przykład wykorzystywanie zbiornika dla magazynowania wody pitnej praktycznie uniemożliwia opróżnienie zbiornika, a prowadzenie prac odmulających z zachowaniem piętrzenia przyczynia się do pogorszenia jakości wody.

W przyjętym podziale regionalnym analizowanych zbiorników na karpackie, sudeckie i nizinne, złożoność i zróżnicowanie warunków odmulania dla każdego z typów zbiorników są znaczne. Wiąże się to m.in. z odmiennymi kształtami zbiorników i tym samym z innymi warunkami sedymentacji. Dodatkowo można tu wyróżnić:

- zbiorniki korytowe o małych szerokościach i dużych długościach oraz o dużych spadkach dna (np. karpacki zbiornik Besko),
- zbiorniki dolinowe, o dużych szerokościach i małych spadkach dna (np. zbiornik nizinny Jeziorsko).

Osady i namuły można usuwać ze zbiorników wodnych w Polsce następującymi metodami:

- za pomocą wymywania strumieniem wody przez upusty denne, względnie przez dodatkowe urządzenia do usuwania namulów przynoszonych w rejon zapory przez prądy gęstościowe,
- za pomocą pogłębiania z użyciem:
  - a) sprzętu lądowego, po częściowym lub całkowitym spuszczeniu wody ze zbiornika,

- b) pogłębiarek pływających (refulerów), pogłębiarek wieloczerpakowych, koparek jednoczerpakowych, zainstalowanych na barkach lub pontonach.

Z uwagi na to, że warstwy osadów odkładanych w zbiornikach (z reguły w strefie martwej i w strefie użytkowej) są relatywnie małe i zwykle nie przekraczają 10–30 cm rocznie, usuwanie osadów metodą wymywania (flushing) jest technicznie możliwe i ekonomicznie opłacalne jedynie co kilka – kilkanaście lat. W tym czasie następuje jednak istotna konsolidacja namulów. Tworzy się materiał spoisty lub częściowo spoisty, odporny na erozję. Metoda ta była dotychczas stosowana sporadycznie i nieefektywnie. Płukanie zbiornika w Porąbce w październiku 1965 r. spowodowało spadek zamulenia z 12,1% do 11,8%. Na większych zbiornikach, przy dużym piętrzeniu i z sezonową regulacją przepływów, dobre efekty można uzyskać przepuszczając falę wezbraniową w okresie przyboru przez denne otwory upustowe, z możliwością ograniczenia do 75–80% normalnego piętrzenia. Celowość i efekty płukania dużych zbiorników muszą być ustalane indywidualnie. Największa efektywność występuje w początkowym okresie, po otwarciu urządzeń upustowych. W wyniku opadającego poziomu wody w zbiorniku uzyskiwany gradient hydrauliczny powoduje koncentrację strumienia wody w czasy zbiornika i rozmywanie osadów dennych w zbiorniku i w pobliżu urządzeń upustowych. W miarę powiększania rozmiarów żłobionego koryta prędkości przepływu maleją i intensywność rozmycia spada. Korzystne technicznie i ekonomicznie wyniki płukania można osiągnąć zwłaszcza na podgórskich i górskich zbiornikach typu korytowego. Dobrym przykładem może być zbiornik Besko o znacznej głębokości wody przy upustach. Osad ze strefy martwej jest w tym zbiorniku w znacznej części wymywany przez duże fale powodziowe. Z uwagi na brak okresowych pomiarów batymetrycznych trudno o dokładne określenie ilości namulów usuwanych z wybranych zbiorników przy użyciu tej metody.

W niektórych wypadkach korzystnym sposobem usuwania osadów dennych jest częściowe lub całkowite opróżnienie zbiornika z wody i wykonanie prac ziemnych „na sucho”. Częściowe opróżnienie jest korzystne zwłaszcza dla dużych zbiorników, charakteryzujących się gospodarką wodną opartą na dużej rezerwie powodziowej, zapewniającej możliwość odsłonięcia górnej części zbiornika spod wody i usunięcia osadów piaszczystych „na sucho”. Zbiorniki zasilające Odrę swobodnie płynącą (Turawa, Nysa, Otmuchów) są często okresowo opróżniane, nawet w części użytkowej. Jednak działania prowadzone z lądu mogą objąć niewielki obszar, najczęściej płytkie części cofkowe obiektów. Dlatego też prace pogłębiarskie powinny być tak planowane, aby wykonywać je w okresie zimowym, po wcześniejszym osuszeniu i zmrożeniu osadów. Pozwala to na wjazd i przemieszczanie się ciężkiego sprzętu budowlanego (spychacze, koparki, ładowarki, ciężarówki).

Technologia pogłębiania zbiorników przy użyciu pogłębiarek pływających (refulerów) jest metodą powszechnie uznaną i docenianą. Refulery pompoworurowe, pracujące w oparciu na gradiencie ciśnienia wytwarzanego przez pompę, nadają się jednak głównie do zasysania materiału świeżo osadzonego, niezagęsz-



czonego. Stąd też pogłębianie zbiorników z wykorzystaniem tej technologii stosuje się najczęściej na obszarach cofki i wlotów dopływów do zbiornika. Jej podstawową wadą jest mała efektywność w przypadku gruntów odznaczających się spoistością oraz znaczne zmaczenie wody zbiornikowej w rejonie prac pogłębiarek. Inną metodą usuwania osadów zbiornikowych spod wody jest mechaniczny sposób odpajania namulów, tj. wprowadzenie różnego rodzaju koparek zainstalowanych na barkach bądź pontonach.

Odrębnym zagadnieniem jest pogłębianie zbiorników, jeśli celem jest głównie uzyskanie kruszywa budowlanego (piasek i żwir). Pobór kruszywa z czaszy zbiornika na większą skalę ma bądź miał miejsce na zbiornikach: Nysa (rys. 1), Topola (rys. 3 i 4), Mietków i Kozielno (pobór kruszywa zakończono w 2003 r.). Ma z reguły komercyjny charakter, co umożliwia miarodajną ocenę ilości materiału wydobywanego ze zbiorników objętych tym rodzajem działalności. Aktualne wydobycie kruszywa budowlanego wynosi ok. 2,5 mln m<sup>3</sup>/rocznie, a stosowany sprzęt i technologie wydobywania nie odbiegają od światowych standardów.



Rys. 1. Zbiornik Nysa. Taśmociągi w części składowania urobku (fot. M. Sieinski)



Rys. 2. Widok sortowni kruszywa wydobywanego ze zbiornika Mietków (fot. M. Sieinski)



Rys. 3. Zbiornik Topola. Miejsce przeładunku kruszywa (fot. M. Sieinski)



Rys. 4. Zbiornik Topola. Taśmociąg transportowy biegnący po lewej zaporce bocznej (fot. M. Sieinski)

Zanalizowano pojemności zbiorników oraz wskaźniki intensywności ich zamulania i ustalono warunek brzegowy zasadności eksploatacji osadów ze względu na konieczność utrzymania określonej pojemności zbiornika. Jeśli chodzi o odmulanie zbiorników wodnych wyłącznie w celu przedłużenia ich żywotności należy stwierdzić, że nie powinno się podejmować takich działań wobec zbiorników o małych średniorocznych ubytkach pojemności ok. 0,01–0,1%. W zbiornikach takich miąższości osadzonego materiału są niewielkie, od kilkudziesięciu cm do 2 m. Zabiegi odmulające są z reguły kosztowne, a efekt przy cienkiej warstwie osadów jest niepewny technicznie. Z przeprowadzonej analizy wynika, że celowe jest podjęcie stałych zabiegów usuwania i zagospodarowania osadów zbiorników, których średnioroczne tempo utraty pojemności początkowej przekracza 0,2%. Dotyczy to bez wątpienia zbiorników: Besko, Dobczyce, Łąka, Wisła Czarne, Czchów, Rożnów i Złotniki a prawdopodobnie też zbiorników: Brody Iłżeckie, Nielisz, Pierzchały, Sromowce Wyżne, Strzegomino, Topola i Zemborzyce. Dla tej drugiej grupy konieczne jest, w celu potwierdzenia zasadności takich działań, wykonanie pomiarów batymetrycznych ich czasz. Wskaźnik graniczny (0,2%) średniorocznej straty pojemności przekroczony jest również dla zbiornika Myczkowce, ale możliwy do przyjęcia okres obliczeniowy dla tego zbiornika dotyczy w dużej mierze lat poprzedzających wybudowanie zbiornika Solina, usytuowanego powyżej. Ogólne kryteria podejmowania stałych czynności odmulania zbiorników wodnych ze względu na odzyskiwanie traconych objętości pierwotnych nie wykluczają konieczności takich działań dla innych zbiorników. Dotyczy to przypadków zagrożenia sprawności pracy zamknięć lub upustów dennych budowli przepustowych, nawet mimo niewielkich ilości namulów, bądź ich lokalizacji sprawiającej problemy techniczne.

Wydobywane osady zbiornikowe posiadają zanieczyszczenia o różnym charakterze jakościowym i ilościowym. W konsekwencji stanowi to istotne ograniczenie w ich wykorzystaniu. Przydatność inżynierska materiałów gliniastych zalegających w czaszach zbiorników jest oceniana negatywnie. Materiały te zawierają bowiem bardzo dużo części organicznych oraz związków mineralnych. Powierzchniowe ławice piasku, zlokalizowane w górnych częściach cofki, po przemyciu mogą być wykorzystywane do celów budowlanych. Ich stosowanie należy jednak ograniczyć do budowli inżynierskich niewymagających wysokich parametrów jakościowych. W najszerszym zakresie mogą być wykorzystywane żwiry i otoczaki zalegające obszary wlotowe i klin cofki zbiorników. Po ewentualnym przemyciu i presortowaniu mogą być używane m.in. na nasypy drogowe oraz jako składnik betonów budowlanych. Przy wykorzystaniu ich do budowy betonów hydrotechnicznych wskazane jest przeprowadzenie badań kontrolnych cech mechanicznych i fizycznych.

Z uwagi na zawartość związków toksycznych wydobywane osady zbiornikowe nie mogą być bezpośrednio wykorzystywane do upraw rolniczych związanych z żywnością. Aktualnie istnieje wiele metod unieszkodliwiania osadów zawierających takie związki, ale stosowanie niektórych z nich jest wątpliwe eko-

nomicznie i są one wykorzystywane tylko w sytuacjach niezbędnych, w przypadku braku innych rozwiązań.

Osady zbiornikowe zawierające zanieczyszczenia nieprzekraczające określonych stężeń i norm oraz osady, w których ponadnormatywne zanieczyszczenia zostały unieszkodliwione, mogą być z powodzeniem zastosowane m.in. do:

- rekultywacji terenów, w tym gruntów na cele rolnicze,
- dostosowania gruntów do potrzeb wynikających z planów przestrzennego zagospodarowania,
- do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu oraz roślin nieprzeznaczonych do produkcji żywności i pasz.

Jednocześnie należy podkreślić, że wykorzystywanie do upraw roślinnych osadów zbiornikowych uzyskiwanych w wyniku prac odmulających przeprowadzanych w znacznych odstępach czasu oraz ich niewielkie ilości do zagospodarowania, ograniczają to zastosowanie do małych obszarów i społeczności lokalnych. Wydaje się, że w praktyce rolnicze wykorzystanie osadów zbiornikowych ze strefy martwej i użytkowej nie jest ekonomicznie opłacalne. Z uwagi na małą zawartość substancji organicznych (ok. kilku procent) stosowanie ich do użytkowania nieużytków rolnych jest bardzo ograniczone.

Osady dennie mogą być wykorzystywane do budowy różnego rodzaju składowisk bądź, wraz z nasionami roślin (głównie traw), do budowy ich skarp. Zastosowane na powierzchniach narażonych na erozję, a w szczególności – na skarpach składowisk odpadów o właściwościach pyłących, mogą sprzyjać odtworzeniu środowiska przyrodniczego. Innym rozwiązaniem jest wykorzystywanie urobku do usuwania lokalnych zagłębień i wyrównywania terenu oraz pod obszary zieleni. Przykładem stosowania osadów do budowy i umocnienia nabrzeża są prace eksploatacyjne na zbiorniku Rożnów. W cofkowej części tego zbiornika trwają roboty polegające na wypełnieniu specjalnie przygotowanych kwater z półpłynnymi osadami dennymi, pobieranymi i transportowanymi z czaszy zbiornika za pomocą pływających pogłębiarek ssąco-refulujących. Zabezpieczenia kwater od strony odwodnej są wykonywane z konstrukcji siatkowo-kamiennych. W efekcie z dotychczasowych terenów bagiennych odzyskano już znaczne obszary w postaci nowego nabrzeża wykorzystywanego do realizacji inwestycji rekreacyjno-turystycznych. Ponadto, poprzez likwidację płycizn uzyskano poprawę hydraulicznych warunków przejścia fal powodziowych w cofce zbiornika rożnowskiego, a także ukształtowanie i zabezpieczenie nowej linii brzegowej.

Koszty wydobywania osadów ze zbiorników wodnych zależą od stosowanej technologii dla określonego rodzaju i głębokości zalegania osadów, odległości i przyjętego transportu, możliwości ewentualnej sprzedaży osadów (np. w przypadku kruszywa), która zmniejsza koszty itp. Obliczanie kosztów wydobycia 1 m<sup>3</sup> osadu spod wody („na mokro”) wykonano, bazując na technologiach stosowanych w Polsce na wyrobiskach zbiornikowych, o największych wydajnościach (ok. 500 tys. m<sup>3</sup>/rok), tj. na zbiornikach Mietków i Nysa. Pozwala to na ocenę kosztów wydobycia przy używaniu optymalnej technologii i minimalizację kosztów pośred-

nich, które są niewspółmiernie większe dla 1 m<sup>3</sup> osadu przy małym wydobyciu. Wyceny wykonano dla poziomu cen w 2011 r. w oparciu na aktualnych zasadach kosztorysowania dla:

- wydobywania osadu pogłębiarkami wieloczerpakowymi refulującymi, transportu barką z załadunkiem za pomocą przenośnika taśmowego, wyładunku koparką, transportu lądowego do sortowni na odległość 0,5 km taśmociągami, sortowania i przerzutu oraz upryzmowania,
- wydobywania osadu pogłębiarkami wieloczerpakowymi refulującymi, transportu lądowego do sortowni na odległość 0,5 km za pomocą przenośnika taśmowego, sortowania i przerzutu oraz upryzmowania,
- wydobywania osadu pogłębiarkami wieloczerpakowymi refulującymi, transportu wodnego barką z załadunkiem za pomocą przenośnika taśmowego i wyładunku koparką, transportu lądowego do sortowni na odległość 0,5 km samochodem samowyladowczym, sortowania i przerzutu oraz upryzmowania.

Koszty wydobycia 1 m<sup>3</sup> osadu, w zależności od przyjętej technologii, wynoszą odpowiednio 147,99 zł; 86,44 zł oraz 199,69 zł (z VAT). Z tych wyliczeń dla najczęściej stosowanych technologii wydobywania osadu „na mokro” wynika średni koszt wydobycia 1 m<sup>3</sup> – ok. 145 zł (z VAT).

W celu ekonomicznej oceny zasadności wydobywania osadów porównano koszt takich działań z kosztem uzyskania 1 m<sup>3</sup> objętości w przypadku budowy nowego zbiornika. Zbiorniki takie, oprócz magazynowania wody, spełniają różne dodatkowe funkcje, np. energetyczne, przeciwpowodziowe, rekreacyjne, hodowlane (gospodarka rybna) itp. W związku z tym koszty ich realizacji obejmują nie tylko wykonanie samego zbiornika z różnego rodzaju obiektami piętrzącymi wodę i urządzeniami z nimi związanymi, lecz także inwestycje towarzyszące, jak np. obiekty komunikacyjne, sieci energetyczne, ujęcia, oczyszczalnie ścieków. Stąd też, w celu oszacowania kosztów uzyskania 1 m<sup>3</sup> pojemności wody w zbiornikach nowo budowanych lub projektowanych, wstępnie wytypowano zbiorniki w zależności od ich lokalizacji. Dla tych obiektów podjęto próbę porównania kosztów ich realizacji. Ostatecznie ograniczono się do zestawienia kosztów zbiorników wybudowanych w określonych regionach tylko w ostatnich latach. Wartości sprowadzono do roku wykonania ostatniego z wybudowanych zbiorników, tj. do 2007, w którym oddano do użytku zbiornik Wióry. Aktualizację wartości dla pozostałych zbiorników przeprowadzono w oparciu na dostępnych wskaźnikach ogólnej inflacji. Wyniki zestawiono w tab. 1.

Koszt 1 m<sup>3</sup> pojemności zbiorników o porównywalnym przeznaczeniu zależy głównie od całkowitej pojemności zbiornika, w mniejszym zaś stopniu od innych parametrów (np. kształtu, rodzaju budowli piętrzącej itp.). Zatem dla dużych zbiorników wodnych koszt uzyskania 1 m<sup>3</sup> pojemności jest odpowiednio mniejszy niż dla zbiorników o średniej i małej pojemności. Po sprowadzeniu szacunkowego średniego kosztu uzyskania 1 m<sup>3</sup> pojemności zbiornika wodnego do poziomu 2011 r. wg przyjętej zasady waloryzacji wskaźnikami inflacji, można go określić na ok. 4,70 zł. Jednocześnie należy stwierdzić, że perspektywy budowy w Polsce zbior-

ników wodnych o dużej pojemności, typu Solina, Czorsztyn, z uwagi na możliwości ich lokalizacji są znacznie ograniczone. Należy się więc spodziewać budowy zbiorników o małej i średniej pojemności, tj. rzędu od kilkunastu do kilkudziesięciu mln m<sup>3</sup>. Stąd też koszt uzyskania 1 m<sup>3</sup> pojemności może być nawet kilkakrotnie wyższy, tj. ok.10–20 zł. Porównanie kosztu uzyskania 1 m<sup>3</sup> nowych pojemności zbiornikowych z kosztem wydobycia 1 m<sup>3</sup> osadu, przy stosowaniu różnych technologii, zdecydowanie wypada jednak na korzyść budowy nowych zbiorników, gdyż nawet przy najtańszej technologii wydobycia jest on wielokrotnie niższy.

Tab. 1. Porównanie kosztów uzyskania 1 m<sup>3</sup> pojemności w zbiornikach wodnych

Lp.	Lokalizacja	Zbiornik	Pojemność maks. (mln m <sup>3</sup> )	Rok rozpoczęcia eksploatacji	Koszt realizacji inwestycji	Współczynnik korygujący	Aktualny koszt zbiornika (mln zł)	Koszt 1 m <sup>3</sup> zmagazynowanej wody (zł)
1.	karpacki	Czorsztyn – Sromowce	239,51	1997	439,6	1,525	670,4	2,80
2.	sudecki	Topola	26,5	2003	200,0	1,11	222,0	8,38
3.	sudecki	Kozielno	16,4	2003	175,0	1,11	194,25	11,84
4.	nizinny	Wióry	35,0	2007	279,0	1,0	279,0	7,97
Łącznie			317,41				1365,65	4,30

Materiał zgromadzony w trakcie realizacji projektu KLIMAT i jego analiza jednoznacznie wskazują, że najbardziej wiarygodnym sposobem monitorowania zmian objętości zbiorników retencyjnych jest okresowe wykonywanie pomiarów batymetrycznych ich czasz. Tymczasem okazało się, że z 51 rozpatrywanych zbiorników tylko 19 posiada aktualne, w pełni wiarygodne krzywe pojemności i powierzchni zalewu, skonstruowane na podstawie wyników pomiarów przeprowadzonych w latach 2008–2011. Warto tu podkreślić niezbędność takich krzywych dla prowadzenia gospodarki wodnej na zbiorniku. Grupa 12 innych zbiorników ma zdezaktualizowane krzywe, ponieważ powstały one w efekcie pomiarów wykonywanych kilkanaście, a często nawet kilkadziesiąt lat temu. Najliczniejszą, bo obejmującą 20 obiektów (ponad 40% rozpatrywanych), grupę stanowią zbiorniki, na których w czasie ich eksploatacji nigdy nie przeprowadzono pomiarów pojemności. Ich krzywe pochodzą z dokumentacji projektowej i były z reguły sporządzone na podstawie map topograficznych. Informacje o zmniejszeniu się pojemności całkowitej tych obiektów można uzyskać jedynie z obliczeń opartych na teoretycznie ustalonych współczynnikach charakteryzujących denudację powierzchniową zlewni. Ponieważ ustalane są one przez różnych autorów, potrafią w skrajnych przypadkach różnić się diametralnie (nawet kilkanaście razy), dlatego informacje uzyskane w ten sposób są mało wiarygodne.

Mimo że w ostatnich latach nastąpiła znaczna poprawa w częstotliwości wykonywania pomiarów batymetrycznych zbiorników, to w dalszym ciągu występują tu znaczne zaległości. W tej sytuacji niezbędne jest wdrożenie wieloletniego programu wykonywania takich pomiarów. Wziąwszy to pod uwagę, przystąpiono więc do opracowania wieloletniego harmonogramu kontroli pojemności zbiorników reten-

cyjnych poprzez pomiary batymetryczne. W jego opracowaniu kierowano się następującymi kryteriami:

- aktualnością krzywej pojemności zbiornika,
- dynamiką procesu zamulania zbiornika,
- wskaźnikami charakteryzującymi denudację powierzchniową zlewni.

Za najbardziej pilne uznano wykonanie pomiarów batymetrycznych zbiorników, które:

1. nie miały nigdy wykonanego takiego pomiaru, przy czym za dodatkowe kryteria przyjęto:
  - czas eksploatacji zbiornika,
  - usytuowanie zbiornika na obszarze charakteryzującym się wysokimi współczynnikami denudacji powierzchniowej; za szczególnie pilne do wyjaśnienia uznano te przypadki, w których współczynniki obliczone teoretycznie przez różnych autorów znacznie się od siebie różniły,
2. miały wykonany ostatni pomiar przed wielu laty,
3. są intensywnie zamulane.

W ostatnim z wymienionych przypadków przyjęto zasadę, że zbiorniki, które średniorocznie tracą ze swojej pojemności:

- ponad 200 tys. m<sup>3</sup> – powinny być kontrolowane co 5 lat,
- od 100 do 200 tys. m<sup>3</sup> – powinny być kontrolowane co 10 lat,
- mniej niż 100 tys. m<sup>3</sup> – powinny być kontrolowane co 15 lat.

Dodatkowym parametrem branym pod uwagę w tym wypadku była też wyjściowa pojemność zbiornika.

Starając się pogodzić powyższe kryteria oraz uwzględniając szacunkowo określone środki, które mogłyby być przeznaczone rocznie na taką działalność, a także możliwości przerobowe potencjalnych wykonawców, sporządzono harmonogram kontroli pojemności zbiorników. Z ostatnią kwestią, tj. potencjalnymi wykonawcami, wiąże się kwestia wiarygodności wykonywanych przez nich pomiarów. Muszą one być wykonywane sprzętem spełniającym określone wymagania, z zachowaniem odpowiedniej metodyki zarówno prac terenowych, jak i kameralnych. W związku z tym opracowano szczegółowe zasady pomiarów batymetrycznych, uwzględniające takie elementy, jak:

- wymagany sprzęt pomiarowy, urządzenia współpracujące i oprogramowanie,
- metodykę wykonywania prac pomiarowych i kameralnych,
- wymagane dokładności pomiarów i ich opracowań,
- zawartość operatu pomiarowego.

Należy też oczywiście podjąć niezbędne działania prowadzące do poprawy jakości osadów dennych, które stanowią integralną część środowiska wodnego, a ich skład formuje się podczas długotrwałych procesów fizycznych, chemicznych oraz biologicznych i bardzo często jest odzwierciedleniem antropopresji. W osadach

zachodzi kumulacja różnych zanieczyszczeń organicznych i mineralnych, w tym trudno rozkładalnych i niebezpiecznych dla środowiska metali ciężkich i związków organicznych, takich jak: pestycydy chloroorganiczne WWA czy PCB. Większość tych związków dociera do wód powierzchniowych wraz ze ściekami komunalnymi i przemysłowymi, ze spływami powierzchniowymi m.in. z terenów rolniczych, zurbanizowanych i szlaków komunikacyjnych, a następnie ulega kumulacji w osadach dennych zbiorników. Zanieczyszczenie osadów jest bardzo ważnym problemem ze względu na ich potencjalne szkodliwe oddziaływanie na biocenozę, a pośrednio na zdrowie człowieka. Ponadto zanieczyszczenia zgromadzone w osadach dennych mogą być źródłem wtórnego zanieczyszczenia wód.

W celu poprawy stanu jakości osadów dennych przez ograniczenie kumulujących się w nich zanieczyszczeń, należy przede wszystkim ograniczyć ich punktowe źródła (odprowadzanie ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych oraz ścieków z hodowli zwierząt). Ponadto, trzeba podejmować działania polepszające użytkowanie zlewni, tj. ograniczyć zanieczyszczenia obszarowe pochodzące z terenów zurbanizowanych oraz rolniczych, a także zanieczyszczenia liniowe – ze szlaków komunikacyjnych. Wszystkie ścieki odprowadzane do środowiska a pochodzące z punktowych źródeł zanieczyszczenia muszą być w jak najwyższym stopniu oczyszczone. Zgodnie z rozporządzeniami Ministra Środowiska i Ministra Budownictwa, stężenia substancji w ściekach wprowadzanych do wód, ziemi i kanalizacji nie mogą przekraczać progów granicznych zamieszczonych na liście substancji priorytetowych, a więc tych, które wpływają wyjątkowo toksycznie na środowisko.

## Podsumowanie

*Urszula Dmitruk, Jerzy Kloze, Edmund Sieński*

Badania w zadaniu 8 *Przeciwdziałanie degradacji polskich zbiorników retencyjnych* dotyczyły dwóch głównych grup zagadnień, a mianowicie aspektu ilościowego i jakościowego zjawiska sedimentacji rumowiska unoszonego i wleczonego w 51 polskich zaporowych zbiornikach retencyjnych. Spełniają one zdefiniowane w zadaniu kryteria dotyczące ich usytuowania, wielkości i przeznaczenia.

Tab. 1. Zestawienie łącznych pojemności zbiorników

Kategoria wiarygodności	Liczba zbiorników	Łączna początkowa pojemność zbiorników (mln m <sup>3</sup> )	Łączna aktualna pojemność zbiorników (mln m <sup>3</sup> )	Łączna utracona pojemność zbiorników (mln m <sup>3</sup> )	Uwagi
I	17	1005,96	968,20	37,76	Wielkości ustalone na podstawie pomiarów batymetrycznych. Dane wiarygodne.
II	11	1113,77	1000,29	113,48	Wielkości obliczone na podstawie dawnych pomiarów batymetrycznych. Dane prawdopodobne.
III	21	562,60	545,66	16,94	Wielkości obliczone teoretycznie. Dane przypuszczalne.
Σ	49	2682,33	2514,15	168,18	–

Uwaga: Dwa zbiorniki w wyniku wydobycia z nich kruszywa zwiększyły pojemność ze 182,80 mln m<sup>3</sup> do 200,42 mln m<sup>3</sup>, tj. o 17,62 mln m<sup>3</sup>.

W pierwszej kolejności zweryfikowano i zinwentaryzowano dane wyjściowe, parametry techniczne i wszystkie dotychczas wykonane pomiary batymetryczne wytypowanych do badań zbiorników. Następnie określono aktualne możliwości retencyjne tych obiektów. Podzielono je na trzy kategorie wiarygodności, w zależności od dokładności posiadanych danych. W tab. 1 zestawiono łączne pojemności zbiorników.



Dokonano także podziału zbiorników wg intensywności ich zamulania i obliczono wskaźniki charakteryzujące denudację powierzchniową zlewni.

Na 4 zbiornikach o charakterystycznych lokalizacjach przeprowadzono pomiary batymetryczne i sporządzono dla każdego z nich:

- krzywe oraz tabele powierzchni zalewu i pojemności w zależności od poziomu piętrzenia,
- warstwicy i numeryczny plan czaszy zbiornika.

Na jednym ze zbiorników przeprowadzono pomiary testowe z użyciem sonaru. Z dna zbiorników pobrano próbki osadzonego tam materiału w celu wykonania badań granulometrycznych, chemicznych i biologicznych.

Przeanalizowano możliwości techniczne i przyrodnicze ograniczenia tempa zamulania zbiorników oraz dokonano przeglądu sposobów usuwania zgromadzonych w nich osadów. Określono warunek brzegowy i kryteria techniczne zasadności podejmowania takich działań. Ustalono koszty jednostkowe odzyskiwania utraconej przez zbiornik pojemności i porównano je z kosztami budowy nowych zbiorników.

Wykonano badania chemiczne osadów dennych pochodzących ze zbiorników retencyjnych, które w zależności od lokalizacji przyporządkowano do trzech grup: sudeckie, karpackie i nizinne. Łącznie zbadano osady denne pobrane z 15 zbiorników retencyjnych. Celem badań jakości osadów dennych była ocena możliwości ich zagospodarowania w środowisku po wydobyciu z dna zbiorników. Zakres prac obejmował wskaźniki charakteryzujące właściwości fizyczne i sorpcyjne osadów oraz zanieczyszczenie ich substancjami niebezpiecznymi, do których zaliczono:

- metale ciężkie: arsen, chrom, cynk, kadm, miedź, nikiel, ołów i rtęć,
- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA),
- polichlorowane bifenyle (PCB),
- pestycydy chloro organiczne.

Metody oceny jakości osadów dennych opierały się na kryteriach, które umożliwiają rozdzielenie osadów zanieczyszczonych od niezanieczyszczonych. Wydobyte osady denne powinny być traktowane jako odpady, które w zależności od składu chemicznego mogą być ponownie wprowadzane do środowiska przyrodniczego bez ograniczeń, wykorzystywane z pewnymi ograniczeniami lub, jeśli są nadmiernie zanieczyszczone, muszą być poddane oczyszczaniu lub przechowywane na składowisku odpadów. Ocenę jakości osadów wykonano na podstawie kryteriów przyjętych w:

- *rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 16.02.2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony,*
- *rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 19.09.2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi,*
- metodzie geochemicznej klasyfikacji osadów dennych do celów monitoringowych zaproponowanej przez Państwowy Instytut Geologiczny.

Ocenę zanieczyszczenia badanych osadów dennych wykonano przez porównanie wartości średnich geometrycznych stężeń oznaczanych substancji zanieczyszczających, obliczonych dla całego zbiornika, z wartościami granicznymi przyjętymi w klasyfikacji osadów jako urobku wg standardów jakości gleby lub ziemi oraz klasyfikacji geochemicznej. Na osadach pobranych z 7 zbiorników przeprowadzono też testy na ekotoksyczność. Wyniki oceny przedstawiono w tab. 2.

Tab. 2. Ocena zanieczyszczenia osadów dennych badanych zbiorników retencyjnych

Badane zbiorniki		Wg rozporządzenia MŚ – urobek	Wg rozp. MŚ – standardy jakości gleby oraz ziemi	Wg klasyfikacji geochemicznej PIG	Ekotoksyczność
sudeckie	Bukówka	Niezanieczyszczony	C	III	IV
	Lubachów	Zanieczyszczony	C	IV	IV
	Mietków	Niezanieczyszczony	A	II	nie badano
	Nysa	Niezanieczyszczony	A	II	nie badano
	Złotniki	Niezanieczyszczony	C	IV	IV
karpackie	Besko	Niezanieczyszczony	C	II	nie badano
	Dobczyce	Niezanieczyszczony	A	II	nie badano
	Klimkówka	Niezanieczyszczony	B	IV	III
	Łąka	Niezanieczyszczony	A	II	nie badano
	Tresna	Niezanieczyszczony	C	IV	III
nizinne	Jeziorsko	Niezanieczyszczony	A	II	nie badano
	Nielisz	Niezanieczyszczony	B	II	III
	Poraj	Niezanieczyszczony	B	II	nie badano
	Rybnik	Niezanieczyszczony	B	II	IV
	Sulejów	Niezanieczyszczony	A	II	nie badano

Na podstawie oceny stwierdzono, że:

- według kryteriów dla urobku jedynie osady denne zbiornika Lubachów (zb. sudecki) są zanieczyszczone ze względu na przekroczenie wartości granicznej dla WWA, pozostałe osady zbiorników sudeckich karpackich i nizinnych nie są zanieczyszczone;
- według kryteriów dla grup zagospodarowania gleby lub ziemi osady denne trzech spośród pięciu badanych zbiorników sudeckich oraz dwóch karpackich odpowiadają glebom grupy C, pozostałe osady zaliczają się do gleb kategorii A i B. O zakwalifikowaniu osadów dennych do gleb kategorii C zadecydowały duże wartości WWA oraz ołowiu;
- według kryteriów przyjętych w klasyfikacji geochemicznej osady denne zbiorników nizinnych zakwalifikowane zostały do II klasy jakości, czyli jako

osady słabo zanieczyszczone, mogące być dowolnie zagospodarowane w środowisku wodnym i lądowym. Osady zbiorników karpackich zakwalifikowano do klasy II, z wyjątkiem tych ze zbiorników Besko i Tresna, które zakwalifikowano do klasy IV – osady bardzo zanieczyszczone, które powinny być po wydobyciu oczyszczone lub składowane w warunkach kontrolowanych. Osady ze zbiorników sudeckich Lubachów i Złotniki – zaliczono do klasy IV ze względu na duże wartości WWA i rtęć, ze zbiornika Bukówka – do klasy III, natomiast z dwóch pozostałych – do klasy II.

Określono także różnice, jakie prawdopodobnie pojawią się w przebiegu akumulacji osadów dennych w polskich zbiornikach retencyjnych na skutek przewidywanych zmian klimatycznych na terenie Polski w XXI w. Z uwagi na to, że dla znacznej części rozpatrywanych obiektów zmiany ich pojemności określono jedynie w przybliżeniu (ze względu na brak bezpośrednich pomiarów) oraz z powodu tego, że wyniki modeli zmian klimatu są obarczone niepewnością, ograniczono się tylko do prognozy jednej sumarycznej wielkości strat pojemności zbiorników wywołanych zmianami klimatu. Elementem decydującym o przewidywanym zwiększeniu tempa utraty pojemności zbiorników będzie, jak już podano w p. *Diagnoza i prognoza stanu polskich zbiorników retencyjnych*, wzrost sumy opadów nieprzekraczający 10% w stosunku do okresu referencyjnego, a przede wszystkim inny ich rozkład czasowy przy niewielkich zmianach wartości średnich rocznych. Efektem będzie zwiększenie powierzchniowej denudacji zlewni zbiorników. Wzrost nie powinien być większy niż ok. 200 tys. m<sup>3</sup> rocznie w rozpatrywanych zbiornikach, tak więc łączna roczna utrata pojemności 51 zbiorników pod koniec XXI w. wyniesie ok. 3,950 mln m<sup>3</sup>. Taka sytuacja będzie miała miejsce w przypadku niepodjęcia działań zaradczych, a mianowicie zabudowy inżynierskiej zlewni (zapory przeciwrumowiskowe, korekcja progowa) i działań przyrodniczych (zalesienia, rekultywacja terenu). Jeżeli chodzi o odzyskiwanie utraconej i pozyskiwanie nowej pojemności retencyjnej, to najbardziej efektywnym działaniem jest budowa nowych zbiorników. Koszt uzyskania jednostki pojemności jest wtedy kilkakrotnie niższy niż przy wydobywaniu osadów znajdujących się w eksploatowanych zbiornikach, nawet z wykorzystaniem najefektywniejszych technologii.

Prognozowane zmiany elementów klimatu będą miały też wpływ na jakość osadów dennych w zbiornikach. Najistotniejszy będzie wzrost średniej temperatury powietrza, który spowoduje wzrost temperatury wód powierzchniowych, a w konsekwencji zmniejszenie stężeń tlenu rozpuszczonego i zdolności do samooczyszczania przez utlenianie substancji organicznych lub ich rozkład. Nastąpi zwiększenie intensywności procesów eutrofizacji i produkcji glonów, powodujące wtórne zanieczyszczenie wody i osadów, zwiększenie ilości substancji zanieczyszczających, w tym metali ciężkich i pestycydów. Wyższa temperatura zmniejszy stopień asymilacji ścieków, a więc trzeba je będzie lepiej oczyszczać. Przewidywany wzrost sumy opadów, powodujący zwiększenie spływu powierzchniowego, wpłynie pośrednio na pogorszenie jakości osadów dennych w zbiornikach, ponieważ zwiększony będzie ładunek zanieczyszczeń i ilości materii organicznej odprowa-

dzanej do wód powierzchniowych z terenów rolniczych i miejskich. Nie powinno to jednak mieć istotnego wpływu na i tak ograniczone możliwości wykorzystania osadów dennych do celów rolniczych, a przy innych sposobach ich zastosowania nie będzie to miało właściwie żadnego znaczenia.

#### Literatura

- Atlas hydrologiczny Polski, 1987, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa
- Bałus S. i in., 2007, Kaskada rzeki Soły: zbiorniki Tresna, Porąbka, Czaniec, IMGW, Warszawa
- Brański J., 1975, Ocena denudacji dorzecza Wisły na podstawie wyników pomiarów transportu rumowiska unoszonego, Prace IMGW, nr 6, Warszawa
- Bojakowska I., Sokołowska G., 1998, Geochemiczne klasy osadów wodnych, Przegląd Geologiczny, t. 46, nr 1
- Bojakowska I., 2001, Kryteria oceny zanieczyszczenia osadów wodnych, Przegląd Geologiczny, t. 49, nr 3.
- Bojakowska I., Gliwicz T., Małecka K., 2006, Wyniki geochemicznych badań osadów wodnych Polski w latach 2003–2005, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa
- Dębski K., 1959, Próba oszacowania denudacji na obszarze Polski, Prace i Studia KGW PAN, II, cz. I, Warszawa
- Dymkowski A., Lewandowski R., 2001, Rekultywacja wybranych stref brzegowych i częściowe odmulenie zbiorników Rożnów i Czchów, Gospodarka Wodna, 10/2001
- ICOLD, 1999, Dealing with reservoir sedimentation, Bulletin 115
- ICOLD, 2009, XXIII Kongres, Referaty dot. Q-89, Management of siltation in existing and new reservoirs, Brazylia
- Jankowski W. i in., 2011, Raport merytoryczny z prac wykonanych w etapie VI zadania 8 projektu KLIMAT, Warszawa
- Kalinowski R., Załęska-Radziwiłł M., 2009, Wyznaczenie standardów jakości osadów dennych na podstawie badań ekotoksykologicznych, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, nr 40, 549-560
- Kloze J. i in., 2010, Raport merytoryczny z prac wykonanych w etapie I zadania 8 projektu KLIMAT, Warszawa
- Kosik A. i in., 2010, Raport merytoryczny z prac wykonanych w etapie IV zadania 8 projektu KLIMAT, Warszawa
- Leszczyński W. i in., 2010, Raport merytoryczny z prac wykonanych w etapie II zadania 8 projektu KLIMAT, Warszawa
- Mroziński J. i in., 2010, Raport merytoryczny z prac wykonanych w etapie III zadania 8 projektu KLIMAT, Warszawa
- Partl R., 1976, Quantitative Analyses of Reservoir Sedimentation Q 47-R 17, 12th ICOLD Congress, Mexico
- Parzonka W., 2010, Analiza możliwości gospodarczego wykorzystania osadów z uwzględnieniem opłacalności takich działań, etap II, Wrocław
- Prochal P., 1961, Analiza zabudowy potoków karpaccich na tle warunków fizjograficznych w województwie krakowskim, Kraków
- Ratowski J., 1991, Sedymentacja rumowiska w zbiornikach przeciwrumowiskowych na obszarze Karpat Fliszowych, Monografia 123, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Kraków
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 kwietnia 2002 r. w sprawie rodzajów oraz stężeń substancji, które powodują, że urobek jest zanieczyszczony, 2002a, Dz. U. z dnia 14 maja 2002 r. nr 55 poz. 498

- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi, 2002b, Dz. U. z dnia 4 października 2002 r. nr 165 poz. 1359
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 7 września 2005 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu, 2005, Dz. U. z dnia 28 września 2005 r. nr 186 poz. 1553
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 12 czerwca 2007 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu, 2007, Dz. U. z dnia 6 lipca 2007 r. nr 121, poz. 832
- Semcha A. i in., 2009, Consequences du dragage du barrage de Fergoug (Algerie), International Conference ENSET Oran
- Taboryska B. i in., 2011, Raport merytoryczny z prac wykonanych w etapie V zadania 8 projektu KLIMAT, Warszawa
- Wiśniewski B., 1969, Zamulanie zbiorników wodnych w Polsce oraz próba jego prognozy na podstawie intensywności denudacji, Archiwum Hydrotechniki, t. XVI, z. 4

### **Podziękowania**

Autorzy części III monografii dziękują za szczególny wkład pracy w realizację zadania 8, który wnieśli następujący jego wykonawcy:

mgr inż. Andrzej Balcerzak	mgr inż. Jerzy Mroziński
mgr Iwona Chmielewska	mgr inż. Maciej Sieński
dr inż. Witold Giżyński	mgr inż. Sławomir Selerski
mgr Artur Grześkowiak	mgr Barbara Taboryska
mgr inż. Agnieszka Jancewicz	mgr Urszula Tomczuk
mgr inż. Władysław Jankowski	tech. Tamara Wilk
mgr Anna Kosik	tech. Małgorzata Zarychta
mgr inż. Wojciech Leszczyński	mgr Joanna Żak



## **CZĘŚĆ IV.**

# **OBECNE ZAGOSPODAROWANIE WISŁY I JEJ DORZECZA ORAZ PROPONOWANE ZMIANY W ŚWIETLE PROGNOZOWANYCH ZMIAN KLIMATYCZNYCH**





## Wprowadzenie

*Wojciech Majewski, Michał Marcinkowski, Rafał Stepnowski*

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy realizuje od 2008 r. projekt pt. *Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo*. Jego podstawowym celem jest wypracowanie systemu dostosowania społeczeństwa, gospodarki i środowiska do obserwowanych już wyraźnie zmian klimatu, do wdrożenia nowych technologii produkcji, adaptacji przepisów i normatywów do kształtujących się nowych warunków środowiskowych. W ramach projektu wykonywanych jest dziewięć zadań dotyczących nie tylko zmian klimatu, lecz także gospodarki wodnej.

Zadanie 9, którego dotyczy ta część publikacji, ma tytuł: *Perspektywiczne zagospodarowanie dorzecza Wisły wraz z systemem ocen wpływu inwestycji hydrotechnicznych na środowisko*. Obejmuje opracowanie kompleksowego i spójnego programu zagospodarowania Wisły, jej dopływów i całego dorzecza zgodnie z obecnymi dyrektywami UE, *Prawem wodnym* oraz *Polityką wodną państwa*. Założony plan zadania uwzględnia zasadę zrównoważonego rozwoju, potrzeby społeczne i gospodarcze oraz przyszłościowe zagospodarowanie terenu z uwzględnieniem zmian klimatu. Takie podejście będzie istotne przy określeniu potrzeb wodnych dla gospodarki i społeczeństwa w przyszłości, ze szczególnym uwzględnieniem ochrony przeciwpowodziowej i łagodzenia skutków suszy. Spodziewane zmiany klimatyczne w dużym stopniu mogą odbić się na wielkości i alokacji zasobów wodnych, a także na zapotrzebowaniu na wodę przez gospodarkę komunalną, przemysł i rolnictwo. W zadaniu 9 nie brano pod uwagę jakości wody, ponieważ temu problemowi poświęcono zadanie 7. Nie było również celem określenie prognozowanych zmian klimatu, których dotyczyło zadanie 1. W zadaniu 9 wykorzystano wyniki z zadania 1, które uwzględniały przede wszystkim zmiany opadów atmosferycznych, a w konsekwencji odpływ jednostkowy ze zlewni.

Niniejsza część stanowi jeden z czterech rozdziałów monografii pt. *Zrównoważone gospodarowanie zasobami wodnymi oraz infrastrukturą hydrotechniczną w świetle prognozowanych zmian klimatycznych*. Dotyczy ona zagadnień związanych z szeroko pojętą gospodarką wodną, które znalazły się w czterech zadaniach projektu KLIMAT. Pozostałe trzy części to:

- Zarządzanie zasobami wodnymi w Polsce w świetle zmian klimatu.

- Wpływ zmian klimatycznych na jakość zasobów wodnych wykorzystywanych do zaopatrzenia ludności w wodę.
- Zamulenie polskich zbiorników retencyjnych. Diagnoza stanu i proponowane przeciwdziałania.

Znajdują się w nich informacje na temat problemów z jakością wody, zmian klimatu dla różnych scenariuszy rozwoju gospodarczego oraz zbiorników retencyjnych – jako odrębne szerokie zagadnienie.

## **1. Cel i zakres cz. IV**

W IV cz. przedstawiono aktualny stan Wisły i jej dorzecza pod kątem infrastruktury hydrotechnicznej i hydroenergetycznej, jak również zagospodarowania całego dorzecza obejmującego zasięg i stan lasów [Określenie obszarów... 2010], stan melioracji podstawowych [Stan melioracji... 2009] oraz wód gruntowych [Określenie ilości...2010]. Obecny stan zasobów wodnych i jego zmiany w stosunku do poprzednich lat określono na podstawie odpływu jednostkowego ze zlewni różnicowych dorzecza Wisły. Przedstawiono stopień zagrożenia powodziowego dorzecza Wisły oraz wpływ potencjalnych skutków suszy na zasoby wodne. Podano również zakres metodyczny prognozy oddziaływania na środowisko perspektywicznego programu zagospodarowania Wisły.

Wykorzystanie zasobów wodnych przeanalizowano na podstawie poborów wody z ujęć znajdujących się w dorzeczu Wisły.

Przykładowe wyniki dotyczące różnych problemów związanych z zasobami wodnymi i ich zmian wskazują na możliwości wykonania podobnych badań przez IMGW-PIB w przyszłości w dużo szerszym zakresie, na zasadach komercyjnych.

Zadanie 9 i IV cz. monografii tematycznie obejmuje dorzecze Wisły w granicach Polski, które zasadniczo zostało podzielone na trzy części:

- Wisłę górną wraz z dopływami,
- Wisłę środkową wraz z dopływami,
- Wisłę dolną wraz z dopływami i obszarem delty Wisły obejmującą Żuławy Wiślane.

Wymienione części dorzecza Wisły będziemy nazywać zlewniami. Dorzecze Wisły na obszarze kraju według Atlasu PHP wynosi 168 775 km<sup>2</sup> [Atlas... 2005].

Poruszono następujące zagadnienia: charakterystykę hydrologiczną, pokrycie terenu dorzecza, istniejącą infrastrukturę hydrotechniczną i proponowane zmiany, powódzie i susze, scenariusze zmian klimatycznych, odpływ jednostkowy ze zlewni różnicowych i ramowy system ocen oddziaływania na środowisko. W skład cz. IV wchodzi 9 rozdziałów opracowanych przez autorów, którzy brali czynny udział w realizacji zadania 9 projektu KLIMAT.

## **2. Ogólna charakterystyka Wisły i jej dorzecza**

Wisła jest największą polską rzeką, która bierze początek na południu kraju na stokach Baraniej Góry na wysokości 1116 m nad poziomem morza, a jej ujście

znajduje się w Zatoce Gdańskiej. Wisła ma dla Polski ogromne znaczenie gospodarcze, społeczne, ekologiczne, historyczne i kulturowe. Stanowiła zawsze istotną oś gospodarczą kraju. W XVII w. była najbardziej użegłownioną rzeką Europy. Mimo bardzo prymitywnych środków transportu, rocznie przepływało nią – między Polską a portem Gdańskim – ponad ćwierć miliona ton surowców i gotowych towarów. Kiedy w XVIII w. doszło do rozbiorów Polski, Wisła straciła swoje dotychczasowe znaczenie i coraz bardziej podupadała, podczas gdy inne rzeki europejskie rozwijały się niezwykle dynamicznie pod względem żeglugowym i dostarczały również energii niezbędnej do gospodarki, a także stanowiły ważne źródło zaopatrzenia w wodę [Piskozub 1982].

Po odzyskaniu przez Polskę niepodległości, w okresie międzywojennym, powstały pierwsze plany zagospodarowania Wisły i wykorzystania jej do celów zarówno gospodarczych, jak i rekreacyjnych. Niestety ten 20-letni okres był zbyt krótki dla wdrożenia ambitnych planów przez kraj zniszczony zaborami i wojną. Wybudowano jednak szereg zapór i elektrowni wodnych na obszarze dorzecza Wisły.

Po II wojnie światowej, w nowym układzie geograficznym kraju, centralne położenie Wisły dawało możliwość gospodarczego wykorzystania rzeki, ale ponieważ Polska została bardzo zniszczona w czasie wojny, to w pierwszych latach odbudowy istniało wiele innych priorytetów gospodarczych niż zagospodarowanie rzek. Powstało jednak wiele planów budowy nowych obiektów hydrotechnicznych i hydroenergetycznych. Już w pierwszym planie gospodarki wodnej, opracowanym w latach 60. przez Komitet Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, podkreślono bardzo duże znaczenie dolnej Wisły dla żeglugi i energetyki.

W latach 1968–71 został opracowany *Projekt kompleksowego rozwoju systemu wodnego rzeki Wisły* – przez polskich specjalistów przy współudziale Programu Rozwoju ONZ. Zakładał rozwiązanie wielu ważnych problemów gospodarki wodnej w dorzeczu, w tym także energetyczne wykorzystanie całej Wisły. Opracowany w latach 70. *Program Wisła*, o silnych walorach propagandowych, nawiązywał do planowanego wszechstronnego rozwoju gospodarczego kraju. Nie został jednak zrealizowany ze względu na nierealność jego wykonania, brak pokrycia finansowego oraz możliwości wykonawczych polskich przedsiębiorstw. Warto jednak podkreślić, że *Program Wisła* zawierał wszechstronne podejście do zagadnień gospodarki wodnej, uwzględniające nie tylko problemy techniczne i gospodarcze, lecz także przyrodnicze, kulturowe i rekreacyjne.

Powstał również program pod nazwą *Kaskada dolnej Wisły* [Kaskada 1983]. Był to projekt budowy na odcinku dolnej Wisły kaskady 8 stopni piętrzących, ze zbiornikami przepływowymi. Kaskada miała charakter żeglugowo-energetyczny. W ramach projektu w 1970 r. oddano do eksploatacji pierwszy stopień – Włocławek. Zawansowane były plany budowy następnego stopnia poniżej – Ciechocinka i powyżej – Wyszogrodu.

W późniejszym okresie sprawom gospodarki wodnej w Polsce poświęcono wiele uwagi, ale w budżecie państwa zabrakło środków na realizację proponowanych planów inwestycyjnych.

Pokrycie dorzecza Wisły jest bardzo zróżnicowane. Stanowią je tereny rolnicze (grunty orne, łąki), lasy, tereny zurbanizowane i wody śródlądowe. Rozpatrując zagospodarowanie terenu, uwzględniono również stan melioracji podstawowych na terenie dorzecza, zasięg i stan lasów oraz zasięg i stan jakościowy wód podziemnych.

### **3. Podział Wisły**

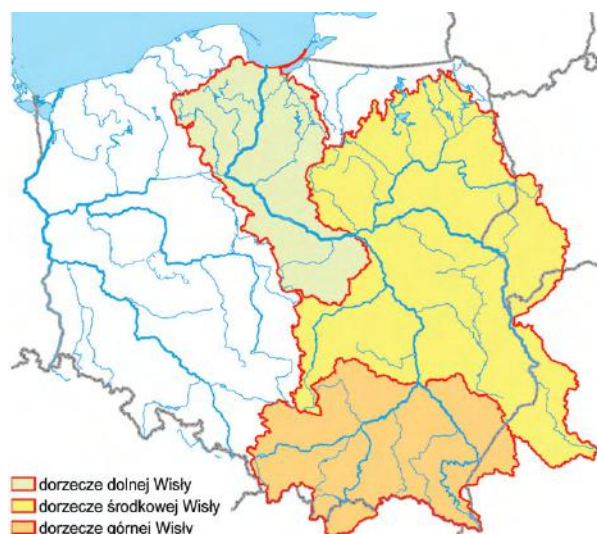
Całe dorzecze Wisły obejmuje 194 tys. km<sup>2</sup>, z czego 87% (169 tys. km<sup>2</sup>) znajduje się w granicach Polski, a pozostała część – na terenie Białorusi, Ukrainy i Słowacji. Powierzchnia, która znajduje się w Polsce stanowi 54% obszaru kraju i obejmuje bardzo ważne tereny, ośrodki miejskie i przemysłowe. Długość Wisły od źródeł do ujścia w Morzu Bałtyckim wynosi 1047 km. Niekiedy kilometraż Wisły jest liczony od ujścia lewobrzeżnego dopływu, tj. Przemszy. Ta długość rzeki wynosi 941 km i jest uważana za drogę żeglowną. Dorzecze Wisły należy całkowicie do zlewiska Morza Bałtyckiego. Jest ona najdłuższą rzeką tego zlewiska, a drugą (po Newie) rzeką pod względem natężenia przepływu przy ujściu.

Pod względem hydrograficznym Wisła i jej dorzecze dzieli się na trzy części [Atlas... 2005]: Wisłę górną, środkową i dolną (rys. 1). Jako Wisłę górną rozumie się odcinek od źródeł do ujścia Sanu. Wisła środkowa obejmuje odcinek od ujścia Sanu do ujścia Narwi, a dolna to odcinek od ujścia Narwi do ujścia Wisły do morza. Wisła przepływa przez 8 województw, a jej dorzecze znajduje się na terenie 11 województw.

Znany jest również podział Wisły na inne odcinki. Ma podłoże geograficzne. Od południa można wyróżnić: Wisłę śląską (od źródeł do ujścia Skawy), małopolską (od ujścia Skawy do ujścia Sanu), lubelską (ujście Sanu do ujścia Wieprza), mazowiecką (ujście Wieprza do ujścia Skrwy), kujawską (ujście Skrwy do ujścia Brdy), pomorską (od ujścia Brdy do ujścia do Zatoki Gdańskiej) [Piskozub 1982]. Należy również dodać, że Wisła stanowi bardzo ważny korytarz ekologiczny dla flory i fauny. Duża część doliny rzeki jest objęta programem NATURA 2000.

Wisła jest jedyną tej wielkości rzeką w Europie w tak niewielkim stopniu wykorzystaną do celów gospodarczych. W minimalnym stopniu jest też eksploatowana w żegludze. Wody Wisły stanowią otwarte obiegi wody chłodzącej kilku dużych elektrowni ciepłych (Połaniec, Kozienice, Siekierki, Żerań). Ponadto są wykorzystywane w wielu miejscach jako ujęcia do celów komunalnych i przemysłowych.

Zamykającym przekrojem wodowskazowym Wisły jest Tczew. Od tego przekroju Wisła nie otrzymuje żadnych dopływów i, mimo jego znacznej odległości od ujścia (ok. 30 km), przepływy tu rejestrowane są uznawane za wartości przepływów przy ujściu. W Morzu Bałtyckim nie ma pływów, jednak stany wody w Zatoce Gdańskiej mogą zwiększać się nawet o 1,50 m w stosunku do średniego stanu morza – w wyniku spiętrzeń wiatrowych, co powoduje powstawanie cofki na ujściowym odcinku Wisły sięgającej nawet do przekroju wodowskazowego Tczew. Powoduje to napływ zasolonych wód do ujściowego odcinka rzeki.



Rys. 1. Podział dorzecza Wisły

### 3.1. Wisła górna

Wisła górna obejmuje odcinek od źródeł do ujścia prawobrzeżnego dopływu Sanu (Dynowska, Maciejewski 1991). Długość tego odcinka wynosi 399 km, a powierzchnia zlewni Wisły górnej w Polsce 45,9 tys. km<sup>2</sup>. Początek stanowią dwa ciekawy wypływające na stokach Baraniej Góry (1116 m npm), to jest Wisielka Biała i Wisielka Czarna. Niekiedy z górnej Wisły wyodrębnia się Małą Wisłę o długości 105 km, obejmującą bieg rzeki od źródeł do ujścia lewobrzeżnego dopływu – Przemszy. Górna Wisła jest zasilana prawobrzeżnymi dopływami góorskimi mającymi swoje źródła na stokach Beskidów Zachodnich i Wschodnich. Największe to: Soła, Skawa, Raba, Dunajec, Wisłoka i San. Są to górskie dopływy o bardzo zmiennych przepływach. Największe lewobrzeżne dopływy Wisły górnej to: Przemsza, Szreniawa, Nida i Czarna Staszowska (rys. 2). Na obszarze zlewni górnej Wisły znajduje się aglomeracja śląska, stanowiąca bardzo ważny ośrodek przemysłowy, oraz miasta: Kraków, Rzeszów i Tarnów. Na obszarze górnej Wisły znajduje się ok. 30% zasobów wodnych Polski. Zasoby wodne rzek karpackich stanowią aktualne i potencjalne rezerwy wodne, w skali zarówno regionu, jak i kraju. Podstawowym warunkiem umożliwiającym ich wykorzystanie jest ochrona czystości wód. Odmienne cechy od dopływów prawobrzeżnych górnej Wisły wykazują – lewobrzeżne, o niewielkich spadkach koryt rzecznych.

Rozmieszczenie zasobów wód podziemnych, uwarunkowane zróżnicowaniem budowy geologicznej, jest bardzo nierównomierne. W dorzeczu znajdują się 44 główne zbiorniki wód podziemnych. Wymagają szczególnej ochrony. Zajmują 31% powierzchni zlewni górnej Wisły.

Na obszarze zlewni górnej Wisły w granicach Polski przeważają tereny rolne, które stanowią ponad 60% obszaru. Około 34% obszaru obejmują lasy i ekosyste-

my seminaturalne, a niecałe 5% obszaru to tereny zantropogenizowane. Tereny wodne i strefy podmokłe w sumie stanowią ok. 1%. Sieć NATURA 2000 uwzględnia dwa typy obszarów (OSO i SOO) i zajmuje łącznie obszar 9376 km<sup>2</sup>.



Rys. 2. Zlewnia górnej Wisły

Na obszarze zlewni, na dopływach II i III rzędu, zlokalizowano 494 budowle poprzeczne, administrowane głównie przez RZGW w Krakowie i Gliwicach oraz Śląski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Katowicach. Są to obiekty, których wysokość jest równa lub większa niż 1 m; 18 z nich zaliczono do I, II lub III klasy (są to tylko budowle administrowane przez RZGW).

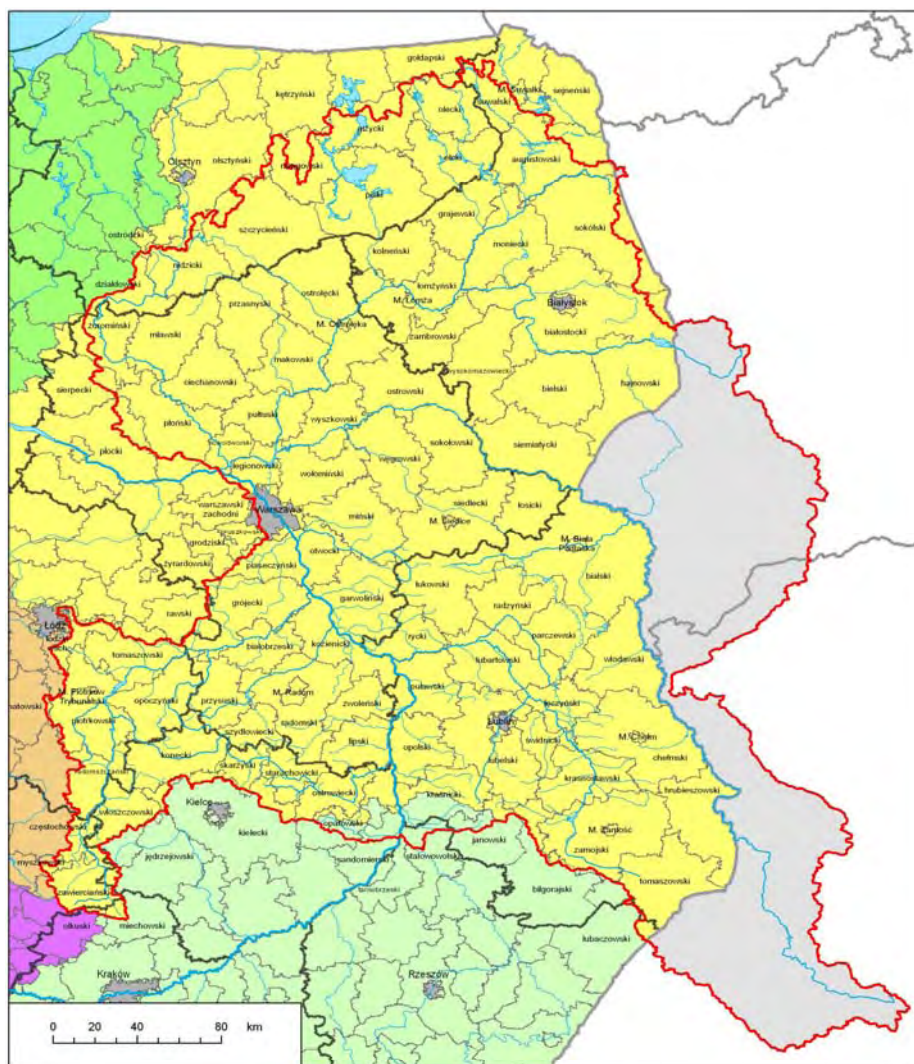
Na odcinku od ujścia Przemszy do ujścia Sanu (ok. 282 km) Wisła jest rzeką uznaną za żeglowną. Na odcinku od ujścia Przemszy do Krakowa mamy drogę wodną górnej Wisły o długości 93 km. Możliwości żeglugowe stwarzają stopnie: Dwory, Smolice, Łączany, Kościuszko, Dąbie i Przewóz, wybudowane w latach 1949–2002. Parametry eksploatacyjne tej drogi wodnej obejmują klasy od II do IV.

Na obszarze zlewni górnej Wisły znajduje się 8 dużych elektrowni wodnych na rzekach: Dunajec, San i Soła. Są to elektrownie: szczytowe, szczytowe z członami odwracalnymi, szczytowo-pompowe i przepływowe. W perspektywie kolejnych 20 lat, tj. do roku 2030, planowane są następujące inwestycje hydrotechniczne: dokończenie zapory i zbiornika Świnna Poręba na rzece Skawie, wybudowanie zbiorników: Krempana na Wisłoce, Młynne na Łososinie, Rudawka Rymanowska na Wisłoku oraz Dukla na Jasiołce. Planowane są 4 większe elektrownie wodne.



### 3.2. Wisła środkowa

Wisła środkowa to odcinek od ujścia Sanu do ujścia Narwi. Jego długość wynosi 256 km, a zlewnia Wisły środkowej na terenie Polski obejmuje 88,8 tys. km<sup>2</sup>. Część zlewni znajduje się na terenie Białorusi i Ukrainy.



Rys. 3. Zlewnia Wisły środkowej

Ważniejszymi prawobrzeżnymi dopływami Wisły środkowej są: Wieprz, Świder oraz Narew z Bugiem. Dopływy lewobrzeżne to Kamienna, Radomka i Pilica. Ważniejszymi ośrodkami miejskimi na terenie zlewni Wisły środkowej są: Warszawa, Radom, Kielce, Lublin i Białystok. U ujścia Bugu do Narwi w wyniku budowy zapory Dębe powstał zbiornik Zegrzyński, który został oddany do eksploatacji w 1963 r. Zlewnia środkowej Wisły jest asymetryczna (rys. 3), lewobrzeżna część stanowi 16,6% , a prawobrzeżna – 83,4%.

Zlewnia Wisły środkowej to głównie obszar nizinny (ok. 55%), ale występują tu również krajobrazy wyżynne i pojezierne. W tym względzie zdecydowanie różni się od obszarów zlewni Wisły górnej i dolnej. Zlewnia środkowej Wisły znajduje się na terytorium 3 państw: Polski (81%), Ukrainy (10%) i Białorusi (9%). W Polsce dorzecze znajduje się w granicach 8 województw: mazowieckiego, lubelskiego, podlaskiego, warmińsko-mazurskiego, świętokrzyskiego, łódzkiego, śląskiego i podkarpackiego. Niemal cały teren jest administrowany przez RZGW w Warszawie. Jedynie niewielka część dorzecza środkowej Wisły – od ujścia Sanu do ujścia Sanny koło Annopola – podlega RZGW w Krakowie.

Według Ramowej Dyrektywy Wodnej (ANNEX XI) dorzecze środkowej Wisły znajduje się w obrębie dwóch ekoregionów rzeczno-jeziornych, oznaczonych numerami 14 i 15. Ekoregion 14. obejmuje równiny centralne (16,6% dorzecza środkowej Wisły), a 15. – równiny wschodnie (83,4%). Granica między nimi przebiega wzdłuż Wisły. W regionach fizyczno-geograficznych Polski dominują krajobrazy nizinne.

Lasy i ekosystemy seminaturalne, tereny wodne i strefy podmokłe zajmują niecałe 30% zlewni środkowej Wisły, czyli o ponad 3% mniej niż średnio w całej Polsce. Przeważającą część zlewni stanowią tereny rolne. Pokrywają niemal 70% powierzchni. Na tym terenie występuje obieg wody zbliżony do naturalnego. Może być jednak w pewnym stopniu zakłócony zabiegami agrotechnicznymi.

Tereny zantropogenizowane zajmują niecałe 3% dorzecza środkowej Wisły. Jest to odsetek mniejszy od średniego obliczonego dla całego obszaru Polski, który wynosi 3,3%. W zlewni środkowej Wisły znajduje się 81 obszarów ochrony siedlisk i 44 obszary ochrony ptaków. Łączna powierzchnia poszczególnych grup obszarów ochrony w granicach dorzecza środkowej Wisły wynosi 14 374 km<sup>2</sup>, co stanowi 16% części zlewni środkowej Wisły.

### **3.3. Wisła dolna**

Dolna Wisła obejmuje odcinek od ujścia Narwi do Morza Bałtyckiego – 391 km. Ujście Narwi znajduje się w km 550, a ujście Wisły do morza w km 941. Powierzchnia dorzecza dolnej Wisły wynosi 34,3 tys. km<sup>2</sup>. Narew łącznie z dopływem Bugu i Wkry jest największym dopływem Wisły, zmieniającym zasadniczo natężenie prze pływ w głównym korycie rzeki. Tuż poniżej ujścia Narwi znajduje się przekrój wodowskazowy Modlin. Odcinek dolnej Wisły pokazano na rys. 4.

W przekroju Tczew średni wieloletni przepływ wynosi 1080 m<sup>3</sup>/s, maksymalny zarejestrowany przepływ 7840 m<sup>3</sup>/s, a minimalny – 253 m<sup>3</sup>/s. Przepływ o praw-



dopodobieństwie przewyższenia 1% wynosi  $9190 \text{ m}^3/\text{s}$ , a najdłużej trwający –  $614 \text{ m}^3/\text{s}$ . Średni roczny odpływ Wisły do Bałtyku wynosi  $34,0 \text{ km}^3$ , odpływ maksymalny to  $50,8 \text{ km}^3$ , natomiast minimalny (rok suchy) –  $20,5 \text{ km}^3$ . Wisła dostarcza 7% wody słodkiej do Morza Bałtyckiego.



Rys. 4. Zlewnia dolnej Wisły

Ujście Wisły do morza odbywa się obecnie przez sztucznie utworzony w 1895 r. odcinek rzeki, który nosi nazwę Przekopu. Wykonanie go miało na celu uproszczenie odpływu Wisły do morza. Poprzedni odpływ do morza przez Wisłę Gdańską i Szkarpawę był bardzo skomplikowany i powodował wiele zagrożeń powodziowych, szczególnie w wyniku tworzenia się zatorów w okresie wiosennego spływu lodów. Końcowy odcinek Wisły, od ujścia Nogatu w miejscowości Biała Góra do

morza (ok. 50 km), jest obustronnie obwałowany i nie posiada dopływów. Po wykonaniu Przekopu dawna Wisła Gdańska została odcięta od głównego koryta służą żeglugową w Przegalinie. Dziś nosi nazwę Martwej Wisły. Rzeka Szkarpa, zwana również Wisłą Elbląską, została odcięta od głównego koryta służą żeglugową w Gdańskiej Głowie, natomiast Nogat – służą żeglugową i wrotami przeciwpowodziowymi w Białej Górze.

Cały obszar dorzecza dolnej Wisły należy do regionu Niż Polski (92%). Nie wielki skrawek zlewni Drwęcy należy do regionu Nizin Wschodniobałtycko-Białoruskich (0,61%), natomiast ponad 6% dorzecza dolnej Wisły zajmują doliny dużych rzek. Odrębnym typem krajobrazu Niżu Polskiego są Żuławy – tzw. krajobraz deltowy oraz krajobraz wód powierzchniowych przybrzeżnych, będących pod wpływem wód morskich. Stanowi on 5% całkowitej powierzchni dorzecza dolnej Wisły (wg podziału Kondrackiego).

Typologię wód powierzchniowych płynących przeprowadzono dla rzek w ramach wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej w Polsce. W zlewni Wisły dolnej przeważają piaszczyste potoki nizinne (55,4%), prawie 9% przypada na potoki, strumienie oraz małe i średnie rzeki na obszarach będących pod wpływem procesów torfotwórczych. Duży – ponad 8% – udział mają ciekły łączące jeziora, a ponad 7,5% rzeki nizinne piaszczysto-gliniaste.

Rozpatrywane dorzecze dolnej Wisły (wg podziału Kondrackiego) znajduje się w granicach Niżu Środkowoeuropejskiego – rozległej prowincji fizycznogeograficznej rozciągającej się od delty Skaldy, Mozy i Renu na zachodzie, poza dolną i środkową Wisłą na wschodzie. W granicach dorzecza dolnej Wisły można wyróżnić trzy podprowincje: Pobrzeże Południobałtyckie, Pojezierze Południobałtyckie oraz Niziny Środkowopolskie.

Przy rozpatrywaniu dolnej Wisły nie można nie brać pod uwagę delty Wisły wraz z Żuławami Wiślanymi. Zlewnia dolnej Wisły łącznie z całą deltą wynosi 39,6 tys. km<sup>2</sup> i znajduje się całkowicie na terytorium Polski w przeciwieństwie do zlewni górnej i środkowej Wisły. Obszar delty Wisły obejmuje 5500 km<sup>2</sup>. Jest to największa w kraju płaska równina położona na styku lądu i morza przy Zatoce Gdańskiej i Zalewie Wiślanym.

W ramach delty Wisły można wyróżnić Żuławy Wiślane o powierzchni 1700 km<sup>2</sup>. Na tym obszarze występują tereny depresyjne o powierzchni ok. 450 km<sup>2</sup>. Żuławy Wiślane mają bardzo urodzajne gleby, gdzie uprawia się głównie pszenicę i buraki cukrowe. Ten obszar jest szczególnie zagrożony różnego rodzaju powodzią. Na terenie Żuław Gdańskich, łącznie z miastem Gdańsk, znajduje się bardzo skomplikowany układ rzek i kanałów zwany Gdańskim Węzłem Wodnym.

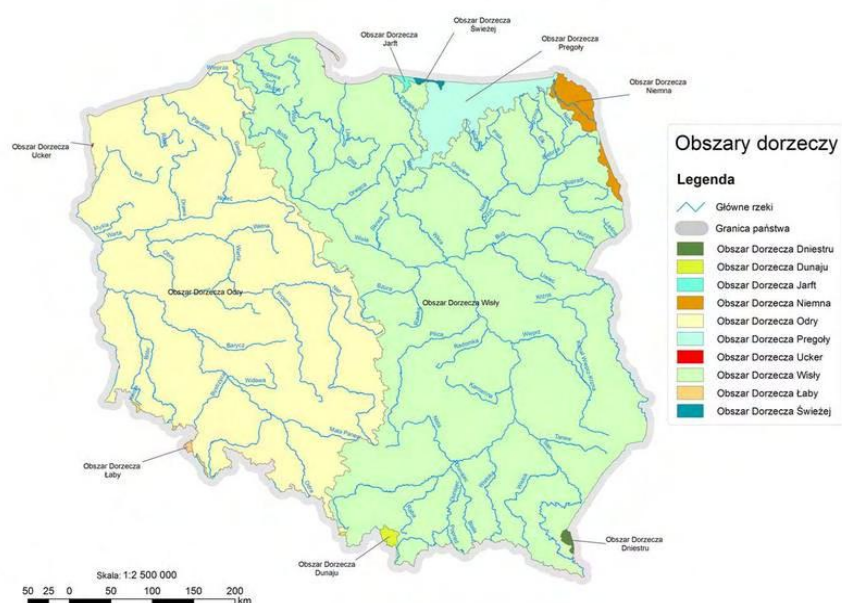
Wzdłuż dolnej Wisły znajduje się wiele ważnych ośrodków miejskich. Są to: Płock, Włocławek, Toruń, Bydgoszcz, Grudziądz, Tczew oraz Elbląg i Gdańsk. Dolna Wisła ma duże możliwości żeglugowe, łączy centrum Polski z portami Gdańsk – Gdynia oraz ma ogromne znaczenie hydroenergetyczne. Tutaj skupia się prawie 30% całego potencjału hydroenergetycznego Polski. Ponad 200-kilometrowy odcinek dolnej Wisły od miejscowości Silno (km 718) do morza został uregulowany w czasie zaboru pruskiego, głównie pod kątem żeglugowym.

Odcinek dolnej Wisły, poczynając od Bydgoszczy, stanowi międzynarodową drogę wodną E70, łączącą Rotterdam przez Berlin, Kanał Odra-Hawela, Odrę, Wartę, Noteć, Kanał Bydgoski, Wisłę, Nogat i Zalew Wiślany z Kaliningradem. Odcinek dolnej Wisły, Narew i Bug, a dalej na terenie Białorusi i Ukrainy stanowi fragment międzynarodowej drogi wodnej E40 łączącej Morze Bałtyckie z Morzem Czarnym. Dolna Wisła ma więc istotne znaczenie żeglugowe.

Po II wojnie światowej powstała koncepcja kaskady dolnej Wisły obejmująca 8 stopni wodnych o charakterze energetycznym i żeglugowym [Kaskada... 1983]. W latach 1963–1970 wykonano i oddano do eksploatacji pierwszy stopień – Włocławek oraz rozpoczęto przygotowania do budowy następnego stopnia – w Ciechoćniku.

#### 4. Uwarunkowania prac realizowanych w zadaniu 9

Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej (KZGW), opracowując plany gospodarowania wodami w Polsce, przyjął dwa duże obszary dorzeczy: Wisły i Odry. Obszar dorzecza Wisły obejmuje swym zasięgiem nieco większą powierzchnię niż przyjęte w zadaniu 9 dorzecze w ujęciu hydrograficznym. Do tej powierzchni obszaru dorzecza Wisły dołączono jeszcze zlewnie Żuław Wiślanych oraz w sposób sztuczny – zlewnie Redy, Łeby, Łupawy, Słupi i Pasłęki. Tak zdefiniowany obszar dorzecza Wisły obejmuje 183 180 km<sup>2</sup> (rys. 5).



Rys. 5. Podział Polski na obszary dorzeczy (Źródło KZGW)

Na terenie kraju utworzono regiony wodne. Na obszarze dorzecza Wisły objętego zadaniem 9 znajdują się cztery regiony: Małej Wisły, górnej Wisły, środkowej Wisły i dolnej Wisły.

# Charakterystyka hydrologiczna

*Michał Marcinkowski, Jan Winter*

## 1. Wprowadzenie

Jednym z podstawowych zadań gospodarki wodnej jest powiększanie dyspozycyjnych zasobów wodnych danego obszaru. Wymaga to dobrej znajomości charakterystyki hydrologicznej regionu i istniejących uwarunkowań środowiskowych i społeczno-ekonomicznych. W tym podrozdziale w skrócie przedstawiono rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych w dorzeczu Wisły. Są one jednym z czynników warunkujących reżim odpływu rzeczny. Na podstawie wieloletniego ciągu obserwacyjnego przepływów (1951–2007) omówiono zasoby wód powierzchniowych. Zasoby wód podziemnych przedstawiono na podstawie ekspertyzy wykonanej na potrzeby projektu KLIMAT [Piekarek-Jankowska i in. 2010].

Zlewnie górnej i środkowej Wisły są asymetryczne. Zdecydowanie bardziej rozwinięte są prawobrzeżne dopływy. Lewobrzeżna część zlewni górnej Wisły stanowi 26% całego obszaru, a udział prawobrzeżnej części wynosi 74%. Asymetria wynika głównie z ukształtowania terenu. Ważniejsze prawobrzeżne dopływy to: Soła, Skawa, Raba, Dunajec, Wisłoka, San, a lewobrzeżne: Przemsza, Nida i Czarna. Soła, Skawa, Dunajec, San i Wisłoka są najzasobniejszymi dopływami Wisły na tym obszarze [Walczykiewicz i in. 2009].

Lewobrzeżna część zlewni środkowej Wisły stanowi 16,6% całego obszaru, a udział prawobrzeżnej części wynosi 83,4%. Ważniejsze prawobrzeżne dopływy to: Wieprz, Świder i Narew, a lewobrzeżne: Kamienna, Radomka i Pilica. Między nimi istnieje znaczna dysproporcja w powierzchni ich zlewni i przepływów. Powierzchnia zlewni Narwi stanowi 68,2% zlewni środkowej Wisły, z czego połowa (35,4%) to zlewnia Bugu – największego dopływu Narwi.

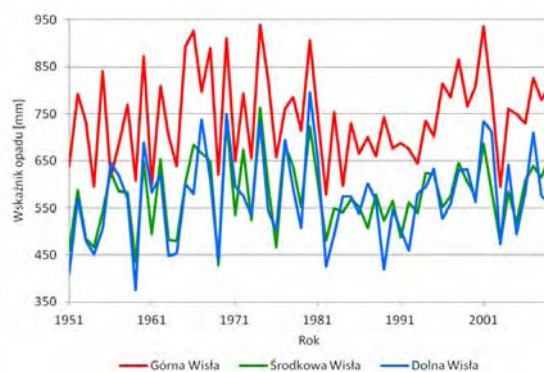
Bardziej symetryczna jest zlewnia dolnej Wisły. Jej lewobrzeżna część (wliczając zlewnię Martwej Wisły) stanowi 60%, natomiast prawobrzeżna (wliczając zlewnie Nogatu, Elblągu i Szkarpany) – 40%. Ważniejsze lewobrzeżne dopływy dolnej Wisły to: Wierzyca, Mątawa, Wda, Brda, kanał Zielona Struga, Zgłowiączka i Bzura. Natomiast dopływy prawobrzeżne to: Osa, Fryba, Drwęca, Mień i Skrwa. W zlewni dolnej Wisły znajduje się pięć cieków, które mimo braku naturalnego połączenia z Wisłą stanowią część tego systemu. Są to: Nogat, Elbląg oraz

Szkarpawa z Wisłą Królewiecką, będące częścią prawobrzeżnego systemu. W wyniku naturalnych zmian w dolinie Wisły, jak również w związku z silnym przekształceniem przez człowieka – cieki te utrzymują połączenie z Wisłą za pomocą sieci kanałów i budowli hydrotechnicznych. W części lewobrzeżnej rzekę I rzędu stanowi Martwa Wisła z dopływem Motławą [Majewski i in. 2009].

## 2. Opady atmosferyczne

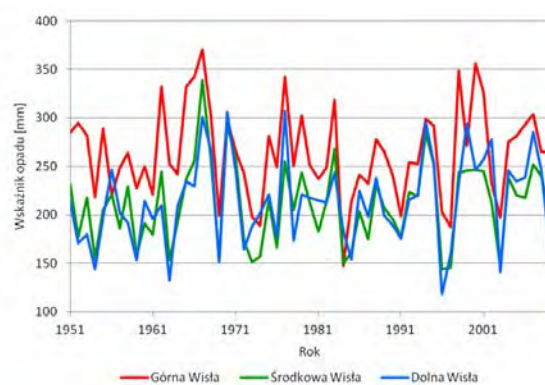
Jedną z podstawowych charakterystyk hydrologicznych każdego obszaru jest wielkość opadów atmosferycznych. Mają bezpośredni wpływ m.in. na wielkość własnych zasobów wodnych. Opady w dorzeczu Wisły przeanalizowano na podstawie wskaźników opadów. Są one obliczane dla każdej zlewni wodowskazowej jako średnia ważona opadów w regionach. Za stacje reprezentatywne dla poszczególnych obszarów uznano: Zawichost (górna Wisła), Kępa Polska (środkowa Wisła) i Tczew (dolna Wisła). Najwyższe roczne sumy opadów są notowane w zlewni górnej Wisły (rys. 1). Zlewnie środkowej i dolnej Wisły charakteryzują się zbliżonymi do siebie rocznymi sumami opadów. W okresie 1951–2009 wskaźniki opadów wzrosły. W szczególności dotyczy to północy Polski (m.in. Pojezierze Mazurskie, Nizina Północnopodlaska), Bieszczad oraz Równin Łęczyńsko-Włodawskich [Bogdanowicz i in. 2008].

Zdecydowanie mniejsze opady w porównaniu do półrocza letniego rejestruje się w półroczu zimowym (rys. 1–3). Ponadto, w półroczu letnim opady w zlewni górnej Wisły są znacznie większe niż w pozostałej części zlewni. W analizowanym okresie w półroczu zimowym nastąpił wzrost opadów na północy Polski (Pojezierze Mazurskie, Nizina Północnopodlaska). Wyraźny spadek opadów stwierdzono natomiast w południowo-wschodniej części kraju, ograniczonej Bugiem i Pilicą, obejmującej Kotlinę Sandomierską, Roztocze, Wyżynę Lubelską, Nizinę Południowopodlaską. W okresie letnim opady wzrosły na wschód od Wisły, w Bieszczadach, Beskidzie Niskim i na Pobrzeżu Kaszubskim. Spadek miał miejsce w rejonie Beskidu Śląskiego, Kotliny Oświęcimskiej [Bogdanowicz i in. 2008].

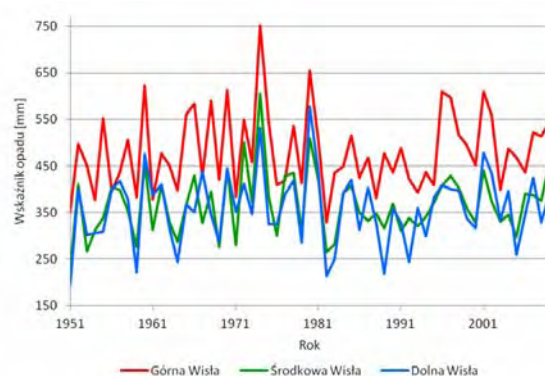


Rys. 1. Roczne wskaźniki opadu w poszczególnych obszarach dorzecza Wisły





Rys. 2. Wskaźniki opadu w półroczu zimowym w poszczególnych obszarach dorzecza Wisły



Rys. 3. Wskaźniki opadu w półroczu letnim w poszczególnych obszarach dorzecza Wisły

Prognozy zmian sum opadów na obszarze kraju są bardzo różne (a nawet sprzeczne ze sobą) w zależności od wykorzystywanego modelu oraz przyjętego scenariusza rozwoju. Modele klimatyczne wskazują na wzrost opadów w północnej Europie oraz spadek na południu [*Water resources...* 2009]. Polska leży w strefie przejściowej między tymi obszarami.

Wyniki badań prowadzonych w ramach zadania 1. projektu KLIMAT wskazują na nieznaczne (poniżej 5%) zmiany sum opadów rocznych w Polsce. Według modelu ECHAM-5 w okresie 2011–2030 wystąpi nieznaczny wzrost sum opadów w stosunku do okresu 1971–1990, natomiast w okresie 2081–2100 –ich niewielki spadek. Scenariusze opracowane na podstawie wyników modelu HadCM3 wskazują natomiast na zróżnicowany kierunek zmian [*Zmiany klimatu...* 2010]. Zostały one dokładnie przedstawione w raporcie z prac wykonanych w 2011 r. w ramach zadania 1. projektu KLIMAT, dostępnym na stronach internetowych IMGW-PIB.

### 3. Reżim odpływu rzecznego

Typowe okresy występowania opadów są jednym z czynników wpływających na reżim odpływu rzecznego. Dorzecze Wisły charakteryzuje się zróżnicowanym reżimem. Mapa obrazująca zmienność tej charakterystyki w całej Polsce została opracowana przez Dynowską [1994] na podstawie procentowego udziału średniego odpływu w miesiącu wiosennym lub letnim w stosunku do średniego odpływu rocznego. Szczegółowe zasady określania poszczególnych typów reżimu przedstawiono w tab. 1.

Według Dynowskiej [1994] początkowy odcinek górnej Wisły, prawie wszystkie prawobrzeżne dopływy oraz rzeki płynące przez północno-zachodnią część Gór Świętokrzyskich charakteryzują się reżimem deszczowo-śnieżnym i śnieżno-deszczowym. Lewobrzeżne dopływy Wisły, San poniżej Przemyśla oraz rzeki płynące przez Beskid Niski i Bieszczady Zachodnie mają reżim śnieżny, średnio i silnie wykształcony. Reżim śnieżny słabo wykształcony jest natomiast typowy dla cieków odwadniających obszar Górnego Śląska.

Środkowa Wisła oraz jej dopływy do ujścia Pilicy włącznie odznaczają się reżimem śnieżnym średnio wykształconym. Rzeki Pojezierza Mazurskiego mają reżim śnieżny słabo i średnio wykształcony. Dla większości pozostałych rzek dorzecza środkowej Wisły charakterystyczny jest reżim śnieżny silnie wykształcony. Charakterystykę poszczególnych reżimów przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1. Zasady określania typów reżimu odpływu rzecznego [Dynowska 1994]

Typ reżimu	Charakterystyka odpływu
Śnieżny silnie wykształcony	średni odpływ miesiąca wiosennego (marca lub kwietnia), przekracza 180% średniego odpływu rocznego
Śnieżny średnio wykształcony	średni odpływ miesiąca wiosennego wynosi 130–180% średniego odpływu rocznego
Śnieżny słabo wykształcony	średni odpływ miesiąca wiosennego nie przekracza 130% średniego odpływu rocznego
Śnieżno-deszczowy	średni odpływ miesiąca wiosennego wynosi 130–180% średniego odpływu rocznego i wyraźnie zaznacza się wzrost odpływu w miesiącach letnich, wynoszący co najmniej 110% średniego odpływu rocznego
Deszczowo-śnieżny	średni odpływ miesiąca letniego jest wyższy lub prawie równy średniemu odpływowi miesiąca wiosennego

Wisła i jej dopływy na odcinku od ujścia Narwi do zapory we Włocławku mają reżim śnieżny silnie wykształcony. Rzeki przepływające przez Kaszuby, w tym m.in. Brda, Wda i Wierzyca w górnym biegu, odznaczają się reżimem śnieżnym słabo wykształconym. Dla pozostałej części zlewni dolnej Wisły typowy jest reżim śnieżny średnio wykształcony.

Zróżnicowany jest również udział zasilania podziemnego i powierzchniowego w odpływie całkowitym. W obszarach górskich i podgórskich w zlewni górnej Wisły w znaczącym stopniu przeważa zasilanie powierzchniowe (ponad 65%). Na większej części zlewni środkowej Wisły obserwowana jest równowaga zasilania

podziemnego z powierzchniowym. Zasilanie podziemne przeważa w obrębie Roztocza i obszarów pojeziernych. W zlewni Liwca i dolnego Bugu dominuje natomiast zasilanie powierzchniowe (55–65%). Wody podziemne zasilają większość rzek w zlewni dolnej Wisły. Jedynie na Żuławach Wiślanych obserwowana jest równowaga obu typów zasilania.

Dominujący typ zasilania rzek ma bezpośredni wpływ na zmienność obserwowanych przepływów dobowych. Rzeki o największym udziale zasilania powierzchniowego charakteryzują się zwykle największą zmiennością przepływów. Jest ona szczególnie duża w przypadku prawych dopływów dolnej Wisły. W dorzeczu środkowej Wisły największą zmiennością przepływów odznacza się Kamienna, górna Narew, Biebrza i Bug, a zmienność pozostałych dopływów i samej Wisły określana jest jako mała i średnia. Niewielka zmienność przepływów dobowych jest natomiast cechą charakterystyczną rzek zlewni dolnej Wisły. Jedynym wyjątkiem na tym obszarze jest Bzura, której przepływy wykazują dużą zmienność [Dynowska 1994].

W przeważającej części dorzecza Wisły wezbrania występują na wiosnę, w okresie roztopów – przede wszystkim na przełomie marca i kwietnia. Wcześniejszy okres występowania wezbrań roztopowych (luty–marzec) dominuje na Kaszubach (m.in. rz. Brda, Wda, Wierzyca), na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej oraz w rejonie Pogórza Szydłowskiego. Wezbrania roztopowe rzadko występują natomiast na Wiśle powyżej ujścia Przemszy oraz na jej prawych dopływach: Sole, Skawie, Rabie i górnym Dunajcu. Na tym obszarze obserwowane są przede wszystkim wezbrania opadowe – od maja do sierpnia. Występują one w całej zlewni górnej Wisły (oprócz zlewni Sanu poniżej Przemyśla), na lewych dopływach środkowej Wisły aż do Radomki oraz na Pilicy – powyżej zbiornika w Sulejowie [Biernat 1994]. Wezbrania opadowe powstające w górnych częściach zlewni często stanowią zagrożenie w środkowym i dolnym biegu rzek.

#### **4. Zasoby wód powierzchniowych**

Największymi zasobami wód powierzchniowych charakteryzuje się dorzecze górnej Wisły. Wynika to z uwarunkowań środowiskowych. Znaczna część tego obszaru obejmuje góry. Są tam rejestrowane wyższe sumy opadów i intensywniejszy spływ powierzchniowy. Objętość średniego rocznego odpływu na obszarze dorzecza górnej Wisły i dorzecza Sanu w okresie 1951–2007 wyniosła 13 547 mln m<sup>3</sup>, co stanowi 269,2 mm warstwy odpływu [Winter i in. 2009].

W niniejszym rozdziale z dorzecza środkowej Wisły wydzielone zostało dorzecze Narwi. Wynika to ze specyfiki tego dorzecza, jego znacznej powierzchni i dużo większych zasobów wodnych od pozostałej części dorzecza środkowej Wisły. Z tego obszaru (bez Narwi) w okresie 1951–2007 odpłynęło średnio w ciągu roku 4440 mln m<sup>3</sup> wody, co odpowiada warstwie odpływu równej 127,7 mm (tab. 2). Na tym odcinku Wisła ma charakter rzeki tranzytowej. Spośród wyróżnionych w tabeli dopływów środkowej Wisły największe zasoby wodne (163,9 mm warstwy odpływu) ma Pilica, największy lewostronny dopływ całej Wisły. Wieprz,



mimo zlewni o podobnej powierzchni, odprowadza średnio o ok. 1/3 wody mniej. Dorzecze Narwi charakteryzuje się większym średnim rocznym odpływem niż dorzecze środkowej Wisły. Średnia warstwa odpływu z polskiej części dorzecza Narwi wynosi 141,3 mm, a najbardziej zasobnym w wodę dopływem na tym obszarze jest Biebrza, ze średnią warstwą odpływu równą 156 mm. Pradolina Biebrzy cechuje się największą w Polsce pojemnością retencyjną, porównywalną do pojemności największych w kraju zbiorników wodnych [Winter i in. 2009].

Tab. 2. Powierzchnia oraz średnie zasoby wód powierzchniowych dorzecza środkowej Wisły i dorzecza Narwi na tle zasobów dorzecza Wisły i obszaru kraju w wieloleciu 1951–2007 [Winter i in., 2009]

Określenie obszaru, jednostki hydrograficznej		Powierzchnia dorzeczy rzek polskich (km <sup>2</sup> )			Odpływ ze zlewni/dorzecza w granicach Polski		Dopływ wód spoza obszaru lub spoza Polski (mln m <sup>3</sup> )	Łączne zasoby wód płynących (mln m <sup>3</sup> )
		całkowita	w granicach Polski	za granicą Polski				
					(mln m <sup>3</sup> )	(mm)		
Dorzecze środkowej Wisły od Sanu do ujścia Narwi		34 767,3	34 767,3	–	4 440,1	127,7	13 547,1	17 987,2
W tym:	Wieprza	10 415,2	10 415,2	–	1 154,1	110,8	–	1 154,1
	Piłicy	9 273,0	9 273,0	–	1 519,6	163,9	–	1 519,6
Dorzecze Narwi		75 175,2	53 873,1	21 302,1	7 610,3	141,3	2 585,6	10 195,9
W tym:	Biebrzy	7 057,4	7 051,3	6,1	1 099,9	156,0	1,1	1 101,0
	Bugu	39 420,3	19 284,2	20 136,1	2 402,1	124,6	2 412,4	4 814,5
	Wkry	5 322,1	5 322,1	–	701,3	131,8	–	701,3
Dorzecze Wisły		194 424,4	168 698,6	25 725,8	28891,1	171,3	3 942,8	32 833,9
Polska		351 207,7	312 677,4	38 530,3	532342	170,3	7 542,3	60 776,5

Zasobność w wodę dorzecza środkowej Wisły i Narwi na tle całego dorzecza Wisły oraz całej Polski przedstawiono w tab. 3. Zestawiono w niej udział powierzchni i odpływu na obszarze dorzecza dolnej Wisły oraz wybranych dopływów w powierzchni i odpływie z obszaru kraju oraz całego dorzecza Wisły w granicach Polski. Wszystkie przedstawione udziały procentowe odpływu analizowanych dorzeczy w odpływie z obszaru Polski i w odpływie z dorzecza Wisły w granicach kraju są mniejsze od procentowych udziałów ich powierzchni. Świadczy to o małych zasobach wodnych formujących się na obszarach rozpatrywanych dorzeczy zarówno w stosunku do dorzecza Wisły, jak i obszaru całej Polski [Winter i in. 2009].

W omawianym wieloleciu z obszaru dorzecza dolnej Wisły odpłynęło średnio 4650,7 mln m<sup>3</sup> wody w roku, co odpowiada warstwie odpływu równej 136,1 mm. Dopływ wód spoza obszaru dolnej Wisły wyniósł aż 28 183,1 mln m<sup>3</sup>. Spośród dopływów górnej Wisły wyróżnionych w tabeli największe zasoby wodne (191,6 mm warstwy odpływu) ma Brda, przy czym powierzchnia jej zlewni jest najmniejsza. Równie dużym średnim odpływem rocznym charakteryzuje się Drwęca, natomiast najmniejszy jest odpływ ze zlewni Bzury.

Tab. 3. Porównanie udziału procentowego powierzchni i odpływu w dorzeczu środkowej Wisły i Narwi w okresie 1951–2007 [Winter i in. 2009]

Określenie obszaru, jednostki hydrograficznej		Udział pola powierzchni dorzecza w powierzchni Polski (%)	Procent odpływu z obszaru Polski (%)	Udział pola powierzchni dorzecza w powierzchni dorzecza Wisły (%)	Procent odpływu z dorzecza Wisły (%)
Dorzecze środkowej Wisły (od Sanu do ujścia Narwi)		11,1	8,3	20,6	15,4
W tym	Wieprza	3,3	2,1	6,2	4,0
	Pilicy	3,0	2,8	5,5	5,2
Dorzecze Narwi		17,2	14,2	31,9	26,1
W tym	Biebrzy	2,3	2,1	4,2	3,8
	Bugu	6,2	4,4	11,4	8,1
	Wkry	1,7	1,3	3,2	2,4

Tab. 4. Powierzchnia oraz średnie zasoby wód powierzchniowych dorzecza dolnej Wisły na tle zasobów dorzecza Wisły i obszaru kraju w okresie 1951–2007 [Majewski i in. 2009]

Określenie obszaru, jednostki hydrograficznej	Powierzchnia dorzeczy rzek [km <sup>2</sup> ]			Odpływ ze zlewni/dorzecza w granicach Polski		Dopływ wód spoza obszaru lub spoza Polski	Łączne zasoby wód płynących (mln m <sup>3</sup> )	
	całkowita	w granicach Polski	za granicą Polski					
				(mln m <sup>3</sup> )	(mm)			
Dorzecze dolnej Wisły od ujścia Narwi	34 162,6	34 162,6	–	4 650,7	136,1	28 183,1	32 833,8	
W tym:	Bzury	7 787,5	7 787,5	–	893,8	114,8	–	893,8
	Drwęcy	5 343,5	5 343,5	–	967,8	181,1	–	967,8
	Brdy	4 627,2	4 627,2	–	886,6	191,6	–	886,6
Dorzecze Wisły	194 424,4	168 698,6	25 725,8	28891,1	171,3	3 942,8	32 833,9	
Polska	351 207,7	312 677,4	38 530,3	53234,2	170,3	7 542,3	60 776,5	

Tab. 5. Porównanie udziału procentowego powierzchni i odpływu w dorzeczu dolnej Wisły w okresie 1951–2007 [Majewski i in. 2009]

Określenie obszaru, jednostki hydrograficznej		Udział pola powierzchni dorzecza w powierzchni Polski (%)	Procent odpływu z obszaru Polski (%)	Udział pola powierzchni dorzecza w powierzchni dorzecza Wisły (%)	Procent odpływu z dorzecza Wisły (%)
Dorzecze dolnej Wisły		9,7	8,7	17,6	16,1
W tym	Bzury	2,2	1,7	4,0	3,1
	Drwęcy	1,5	1,8	2,7	3,3
	Brdy	1,3	1,7	2,4	3,1

Zasobność w wodę dorzecza dolnej Wisły na tle całego dorzecza oraz całej Polski przedstawiono w tab. 5. Zestawiono udział powierzchni i odpływu na obszarze dorzecza dolnej Wisły oraz wyróżnionych dopływów – w powierzchni i odpływie z obszaru Polski i całego dorzecza Wisły w granicach Polski. Udział od-

plywu z dorzecza dolnej Wisły jest mniejszy niż udział jego powierzchni w powierzchni całego kraju i całego dorzecza Wisły, co świadczy o niewielkich zasobach wodnych omawianego obszaru. Większą zasobnością od średniej dla Polski i całego dorzecza charakteryzuje się Drwęca i Brda.

## 5. Wody podziemne

Charakterystyka wód podziemnych w dorzeczu Wisły została omówiona w opracowaniu *Określenie ilości i stanu...* [Piekarek-Jankowska i in. 2010]. Wody podziemne w dorzeczu Wisły zajmują ponad 80% powierzchni tego obszaru. Są reprezentowane przede wszystkim przez czwartorzędowe poziomy wodonośne. Charakteryzują się one wysoką jakością i dostępnością w strefie do 200 m poniżej powierzchni terenu. Warunki hydrogeologiczne w dorzeczu zmieniają się w układzie równoleżnikowym. Wynika to z budowy geologicznej. Występują tu różne systemy krążenia wody podziemnej, migracji wody w systemach szczelinowokrasowych. W dorzeczu Wisły wykształciły się rozległe zbiorniki wody podziemnej. Są w różnym stopniu chronione przed przenikaniem zanieczyszczeń z powierzchni ziemi.

W dorzeczu górnej Wisły wodność skał jest uzależniona od stopnia rozwoju systemów szczelin skalnych, ich spękania oraz rodzaju utworów wypełniających szczeliny. Strefa aktywna, wypełniona wodą, sięga przeważnie do 50 m pod powierzchnią terenu. W tej strefie eksploatowanych jest najwięcej studni ujmujących wody podziemne.

Dla dorzecza środkowej Wisły charakterystyczne jest występowanie wielowarstwowych formacji zbudowanych z utworów klastycznych pochodzenia glacialnego i fluwioglacjalnego. Ich miąższość dochodzi do kilkuset metrów. Eksploatowane są także ujęcia pobierające wodę z poziomów jurajskich i kredowych. Stanowią one ważne źródło zaopatrzenia w rejonach odznaczających się słabszą wodnością lub takich, w których wody wyższych pięter wodonośnych są silnie zanieczyszczone.

W dorzeczu dolnej Wisły systemy wodonośne są związane z regionami pojezierzy oraz Żuław i Zalewu Wiślanego. Warunki hydrogeologiczne tworzą najczęściej wielopiętrowe systemy wodonośne wykształcone w utworach jury, kredy, paleogenu, neogenu oraz czwartorzędu. Najlepszą wydajnością oraz zasobnością odznaczają się piętra czwartorzędowe oraz osady paleogenu i neogenu.

Możliwości wykorzystania wód podziemnych są uzależnione od ich jakości. Z dostępnych danych wynika, że w dorzeczu Wisły najgorszy stan wód podziemnych występuje w górnej części, a najlepszy – w środkowej (tab. 6). Najczęstszą przyczyną złego stanu chemicznego wód podziemnych jest zbyt wysokie stężenie związków żelaza i związków amonowych potasu, jak również związków boru, azotanów, wodorowęglanów i związków zawierających węgiel organiczny i chlorki. Związki biogenne (m.in.  $\text{NH}_4$ , K,  $\text{NO}_3$ ) są pochodną zanieczyszczeń rolniczych i komunalnych. Zanieczyszczenia komunalne mogą także powodować występowanie

nie jonów Na i Cl w wodach podziemnych w dorzeczu górnej Wisły. W dorzeczu dolnej Wisły związki te mogą przedostawać się do wód podziemnych w wyniku ingresji wód morskich. Pod względem fizykochemicznym jakość części wód podziemnych jest określana jako słaba ze względu na zbyt niski odczyn pH oraz za wysoką temperaturę. W dorzeczu dolnej Wisły w wodach podziemnych stwierdzono występowanie organicznych związków węgla. Świadczy to o zanieczyszczeniu substancjami ropopochodnymi i rozpuszczalnikami.

Tab. 6. Charakterystyka statystyczna procentowego udziału JCWPd<sup>1</sup> o stanie chemicznym dobrym, słabym lub nierozpoznanym z powodu braku danych [Piekarek-Jankowska i in. 2010]

Dorzecze	Stan chemiczny		
	dobry	słaby	brak danych
Wisły	79	14	7
Górnej Wisły	67	20	13
Środkowej Wisły	91	6	3
Dolnej Wisły	80	15	5

W tab. 7 zestawiono dane dotyczące zasobów i poborów wód podziemnych w poszczególnych zlewniach dorzecza Wisły na podstawie danych z lat 2000–2005. Różnicę tych obu charakterystyk uznano za wielkość rezerwy zasobów. Najmniejsze rezerwy zasobów wód podziemnych występują w dorzeczu górnej Wisły. Wynika to z lokalizacji licznych zakładów przemysłowych, konurbacji górnośląskiej oraz Krakowa. W tym obszarze znajduje się także największa liczba JCWPd o ujemnym bilansie wodnym. Najbardziej zasobne w wody podziemne jest dorzecze środkowej Wisły. Na tym obszarze są też duże rezerwy zasobów. Najmniejszymi zasobami wód podziemnych charakteryzuje się dorzecze dolnej Wisły. Na tym obszarze pobierana jest ich niewielka ilość.

Tab. 7. Ocena stanu ilościowego JCWPd oraz zasoby, pobór i rezerwy zasobów w regionach wodnych dorzecza Wisły i regionach oraz subregionach hydrogeologicznych [Piekarek-Jankowska i in. 2010]

Charakterystyka	Jednostka	Dorzecze			
		Wisły	górnej Wisły	środkowej Wisły	dolnej Wisły
dostępne zasoby	(tys. m <sup>3</sup> /rok)	6 989 358	1 834 460	3 985 621	1 169 277
	(%)	100	100	100	100
pobór	(tys. m <sup>3</sup> /rok)	1 799 965	720 732	807 916	271 317
	(%)	26	39	20	23
rezerwy zasobów	(tys. m <sup>3</sup> /rok)	5 189 393	1 113 728	3 177 705	897 960
	(%)	74	61	80	77

<sup>1</sup> Jednolite części wód podziemnych

## 6. Podsumowanie

Przedstawiono podstawowe charakterystyki hydrologiczne dorzecza Wisły, obejmujące wody powierzchniowe i podziemne. Stwierdzono duże zróżnicowanie opadów między analizowanymi obszarami (Wisła górna, środkowa i dolna). W zlewni Wisły górnej maksymalne roczne opady osiągają ok. 930 mm, a minimalne ok. 590 mm. Opady w zlewni Wisły środkowej i dolnej są podobne. Maksymalne roczne opady wynoszą ok. 750 mm, podczas gdy minimalne osiągają 370–400 mm. Różnice te wynikają przede wszystkim z naturalnych uwarunkowań środowiskowych. Obliczenia progностyczne wskazują, że nie należy spodziewać się zmian w ilościach opadów w najbliższych 20 latach o więcej niż 5% w stosunku do obecnych średnich wieloletnich.

Zlewnia górnej Wisły charakteryzuje się największymi sumami opadów i w związku z tym są tam również największe zasoby wód powierzchniowych. Odpływ powierzchniowy z tego terenu wynosi średnio ok. 13,5 km<sup>3</sup> rocznie. W związku z przeważającym powierzchniowym zasilaniem cieków, odznaczają się one jednak bardzo dużą zmiennością odpływu w czasie. Na tym obszarze występują stosunkowo niewielkie zasoby wód podziemnych, a znaczna część jest zanieczyszczona.

Dorzecze środkowej Wisły ma największą powierzchnię. Zasoby wód powierzchniowych są na tym obszarze mniejsze niż w dorzeczu górnej Wisły. Obszar ten jest jednak zasobny w wody podziemne. Mimo stosunkowo dużych poborów wód, również rezerwy zasobów wód podziemnych należą do największych w całym dorzeczu Wisły.

Najmniejszymi własnymi zasobami wód charakteryzuje się dorzecze dolnej Wisły. Dotyczy to zarówno wód podziemnych, jak i powierzchniowych. Sumaryczny średni roczny odpływ z dorzecza Wisły wynosi 32,8 km<sup>3</sup>

# Pokrycie terenu dorzecza Wisły

*Michał Marcinkowski*

## 1. Wprowadzenie

Sposób zagospodarowania zlewni ma istotny wpływ na obieg wody w jej obrębie. Wpływa m.in. na wielkość infiltracji, parowania, spływu powierzchniowego, a także na wielkość przepływów kulminacyjnych oraz czas trwania wezbrań. Zagospodarowanie przestrzenne jest w znacznym stopniu uzależnione od środowiska przyrodniczego, w tym od warunków klimatycznych panujących na danym terenie. Uwarunkowane jest również czynnikami społeczno-ekonomicznymi. O ogromnym znaczeniu zagospodarowania przestrzennego świadczą wyniki badań nad globalnymi zmianami środowiska. Wykazały, że różne sposoby użytkowania ziemi, a także zmiany pokrycia terenu mogą wywierać większy wpływ na przekształcenia środowiska niż czynniki klimatyczne [Ciołkosz, Poławski 2006].

W ramach zadania 9 projektu KLIMAT przeanalizowano zmiany pokrycia terenu w dorzeczu Wisły w latach 1990–2006. Zebrano także dostępne w literaturze informacje o przewidywanych kierunkach zmian pokrycia, które w znacznym stopniu mogą wpływać na zmiany zasobów wodnych. Wykorzystano raporty podsumowujące poszczególne etapy realizacji projektu KLIMAT, jak również ekspertyzy zewnętrzne wykonane na zlecenie IMGW-PIB.

Za najbardziej aktualne źródło danych uznano produkty projektu CORINE Land Cover (CO-ordination of INformation on Environment) zainicjowanego przez Komisję Wspólnot Europejskich w 1985 r. Terytorium Polski zostało objęte tym projektem trzykrotnie – w 1990, 2000 i 2006 r. Pozwala to na analizowanie zmian, które zaszły w tym okresie.

Poprawna interpretacja wyników projektu CORINE Land Cover (CLC) jest możliwa jedynie z uwzględnieniem jego założeń technicznych. Na poziomie europejskim zarządza nim Europejska Agencja Środowiska. Jednostką odpowiedzialną za jego realizację w Polsce jest Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ), natomiast bezpośrednim wykonawcą prac – Instytut Geodezji i Kartografii (IGiK).

Jako materiały źródłowe wykorzystano zobrazowania satelitarne Landsat TM (dla 1990 r.), Landsat ETM+ (dla roku 2000), a dla najnowszego opracowania (2006) – SPOT 4 i 5 oraz IRS. Szczegółowość opracowanych informacji odpowia-

da mapie w skali 1:100 000. Dokładność położenia jest większa od 100 m, a minimalna powierzchnia wyróżnianych jednostek jest równa 25 ha (przy czym minimalna szerokość wynosi 100 m). Obszar o takiej powierzchni rzadko charakteryzuje się jednolitym pokryciem. W związku z tym uznano, że nie musi być on homogeniczny. Tak więc poza dużymi obszarami wodnymi, bagiennymi, torfowiskami, plażami, zwartymi kompleksami leśnymi oraz skałami niewiele jest wydzieleń jednorodnych [Bielecka 2007]. Ponieważ baza CLC powstała na podstawie obrazów satelitarnych, możliwe jest występowanie pewnych błędów w ich interpretacji. W założeniach projektu przyjęto dokładność tematyczną równą 85%. W ramach przedstawianego projektu, oprócz baz danych o pokryciu terenu, tworzone były również bazy danych o stwierdzonych zmianach pokrycia terenu w latach 1990–2000 i 2000–2006. Jest to istotne, gdyż w bazie zmian w latach 2000–2006 zarejestrowano obszary o powierzchni większej niż 5 ha, a więc znacznie mniejsze niż w standardowej warstwie zawierającej informacje o pokryciu terenu, co umożliwia bardziej szczegółowe analizy [Bielecka 2008].

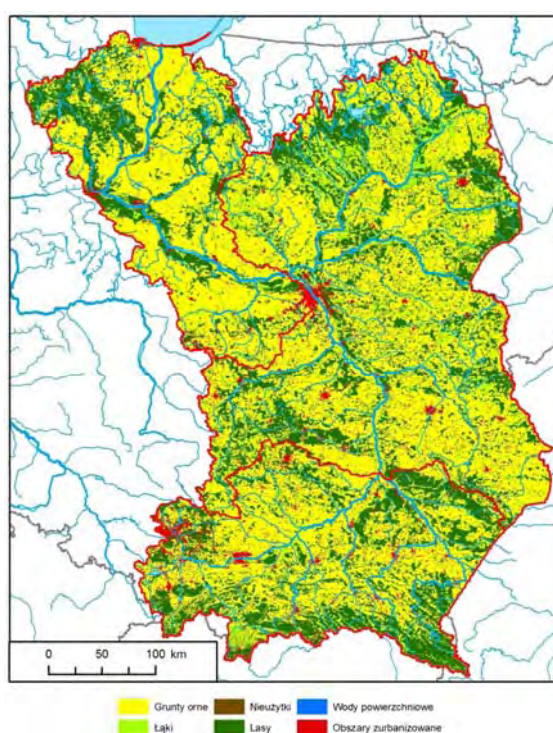
## **2. Aktualne pokrycie terenu**

Informacje o aktualnym pokryciu terenu opracowano przede wszystkim na podstawie najnowszych wyników projektu CLC z 2006 r. Wydzielenia przyjęte w projekcie są bardzo szczegółowe, więc dla ułatwienia analizy danych zostały zagregowane do 6: lasy, grunty orne, łąki, nieużytki, obszary zurbanizowane, wody powierzchniowe [Marcinkowski 2011]. Podobnie jak w całej Polsce, w dorzeczu Wisły przeważają grunty orne (rys. 1, 2). Zajmują znaczny odsetek powierzchni nizin i wyżyn. Stanowią ponad 50% powierzchni całego dorzecza i aż 62,6% zlewni dolnej Wisły, odznaczającej się korzystnymi warunkami środowiskowymi do rozwoju rolnictwa. Łąki pokrywają przede wszystkim tereny dolin rzecznych. Szczególnie dużo takich obszarów znajduje się w zlewni Narwi. Znaczna ich część jest okresowo zalewana w czasie roztopów i wezbrań letnich. Stanowią one ok. 10% powierzchni dorzecza Wisły. Najwięcej łąk występuje w zlewni środkowej Wisły – ok. 13% obszaru zlewni, a najmniej w zlewni dolnej Wisły – niecałe 6%.

Lesistość w dorzeczu Wisły wynosi niemal 30%, a więc jest zbliżona do średniej w kraju w 2006 r. (wg danych GUS-u wynosiła 28,9%). Lasy porastają przede wszystkim tereny trudno dostępne lub takie, które ze względu na niekorzystne warunki środowiskowe nie mogą być wykorzystywane w rolnictwie. Największą lesistością charakteryzuje się zlewnia górnej Wisły (34,4%). Lasy występują tam przede wszystkim na południu, w górach oraz na Roztoczu. Najmniejszą lesistością odznacza się natomiast zlewnia dolnej Wisły (26,1%), gdzie lasy występują przede wszystkim w zlewni Brdy i Wdy. W strukturze gatunkowej przeważają lasy iglaste. Na 67% powierzchni lasów w dorzeczu Wisły dominującym gatunkiem jest sosna. Wśród drzew liściastych mających duże znaczenie można wymienić w dorzeczu górnej Wisły: jodłę (13% pow. lasów) oraz buk (18% pow. lasów), w dorzeczu środkowej Wisły: brzozę (7% pow. lasów), dąb (8% pow. lasów) oraz olszę, a w dorzeczu dolnej Wisły: brzozę (5% pow. lasów), buk i dąb. Wiek większości

drzewostanów w dorzeczu zawiera się w przedziale 41–80 lat [Jabłoński i in. 2010].

Niewielki odsetek powierzchni dorzecza zajmują obszary zurbanizowane – niecałe 4%. Najwięcej jest ich w dorzeczu górnej Wisły. Najmniejszą powierzchnię zajmują nieużytki. Stanowią zaledwie 0,1% dorzecza. Są szczególnie liczne w dorzeczu górnej Wisły. Wynika to w pewnym stopniu z tamtejszych niekorzystnych warunków środowiskowych. Wody powierzchniowe stanowią ok. 1,5% dorzecza Wisły. Wielkości wybranych charakterystyk dotyczących wód powierzchniowych w poszczególnych obszarach dorzecza zaprezentowano w tab. 1.



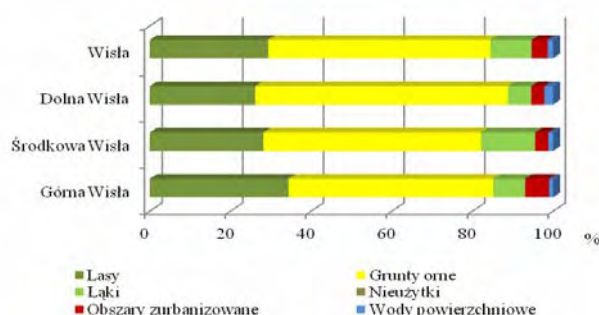
Rys. 1. Pokrycie terenu polskiej części dorzecza Wisły (na podstawie danych CLC 2006)

Tab. 1. Wybrane charakterystyki dorzecza Wisły [Mioduszewski i in. 2009b]

Charakterystyka	Jednostka	Dorzecze Wisły		
		górnjej	środkowej	dolnej
Powierzchnia stawów rybnych	%	0,19	0,06	0,06
Długość cieków naturalnych w odniesieniu do powierzchni zlewni	km/km <sup>2</sup>	0,22	0,19	0,19
Długość kanałów w odniesieniu do powierzchni zlewni	km/km <sup>2</sup>	0,001	0,020	0,038
Pojemność użytkowa zbiorników w 2008 r.	mln m <sup>3</sup>	19,33	131,41	16,18
Powierzchnia zmeliorowana w granicach zlewni w 2008 r.	%	13,17	18,81	25,24



Stosunkowo niewielka część dorzecza Wisły jest zmeliorowana. Trzeba ponadto podkreślić, że większość istniejących systemów melioracyjnych jest przestarzała i wymaga modernizacji. Stare systemy odznaczają się m.in. jednostronnym odwadniającym działaniem lub brakiem wody do nawodnień, dużą bezwładnością nawodnień i niedostateczną organizacją gospodarowania wodą. Nie są zatem spełnione wymagania Ramowej Dyrektywy Wodnej w aspekcie oszczędnego gospodarowania zasobami wodnymi. Obecnie w Polsce nawadnia się nie więcej niż 0,5% użytków rolnych, w tym większość to nawodnienia podsiękowe użytków zielonych [Mioduszeński i in. 2009a].



Rys. 2. Pokrycie terenu polskiej części dorzecza Wisły oraz poszczególnych jego części (na podstawie danych CLC 2006)

### 3. Zmiany pokrycia terenu

Zmiany pokrycia terenu przeanalizowano na podstawie baz danych przestrzennych obrazujących różnice między rokiem 1990 i 2000 oraz 2000 i 2006. Niestety w przypadku pierwszego przedziału czasowego zarejestrowano zmiany jedynie na niecałej 0,6 % powierzchni polskiej części dorzecza Wisły. Wynika to z założeń projektu przytoczonych we wprowadzeniu, według których rejestrowano tylko te zmiany, które zaszły na powierzchni większej od 25 ha. Analiza zdjęć satelitarnych wykorzystanych wcześniej w programie CLC, wykonana przez Ciołkosza i Poławskiego [2006], wykazała, że w rzeczywistości wiele zmian w pokryciu terenu zaszło na obszarach mniejszych niż 25 ha.

Wśród zmian zarejestrowanych w bazie CLC 2000 uwagę zwracają m.in. obszary leśne. Część z nich została wycięta (lub zniszczona w wyniku naturalnych procesów, takich jak silny wiatr). Zarejestrowano jednak także nowe miejsca zajęte przez lasy, na których w 1990 r. występowała roślinność drzewiasta i krzewiasta. Zauważalne jest również wyraźne zmniejszenie areалу gruntów ornych. Obszary te przeznaczano pod łąki, sady i plantacje, a w niektórych przypadkach były zalesiane lub zabudowywane. Stosunkowo duże zmiany zagospodarowania zaszły w zlewni dolnej Wisły na obszarze Żuław Wiślanych. Część łąk występujących tam w 2000 r. zakwalifikowano do gruntów ornych.

Bazę zmian pokrycia terenu w latach 2000–2006 przygotowano z większą dokładnością. Zaznaczono na niej obszary większe od 5 ha. Mimo tego, powierzchnia

zarejestrowanych zmian jest stosunkowo niewielka. Obejmuje jedynie niecałe 0,5% dorzecza. Uwagę zwraca znaczna dysproporcja wielkości zmian w dorzeczu. Najmniejsze różnice między pokryciem terenu w 2000 i 2006 r. są widoczne w zlewni górnej Wisły (zaledwie 0,3 % powierzchni), a największe w zlewni środkowej Wisły (0,6 % powierzchni). Szczególnie duże zmiany zaszły w rejonie Puszczy Piskiej, gdzie 4 lipca 2002 r. silny wiatr wyrządził ogromne straty w lasach. W analizowanym okresie nastąpiło również znaczne zmniejszenie powierzchni gruntów ornych. Były one przeznaczane pod sady i plantacje, zalesiane oraz zabudowywane. Część zmian ma wyraźny liniowy charakter, co wskazuje na ich związek z budową dróg – najlepszym przykładem jest tutaj budowa autostrady A1 na południe od Trójmiasta. W dorzeczu górnej Wisły zarejestrowano zmiany związane z rekultywacją obszarów eksploatacji odkrywkowej oraz zwałowisk i hałd. Część tych obszarów w omawianym okresie została zalesiona, porośnięta przez trawy, a w zagłębieniach powstały zbiorniki wodne.

Zwiększaniu powierzchni leśnej sprzyja Krajowy program zwiększania lesistości (KPZL) przyjęty w 1995 r. W strukturze gatunkowej zmniejsza się udział sosny jako gatunku panującego. Proces ten postępuje w szczególności w zlewni środkowej i dolnej Wisły. W zlewni górnej Wisły obserwowane jest natomiast zmniejszenie udziału świerka i buka, a zwiększenie – dębu, jodły, olszy i brzozy. Zmianie ulega również stan zdrowotny lasów. W latach 1990–1994 obserwowano pogorszenie kondycji drzewostanów, zarówno iglastych, jak i liściastych. W drugiej połowie lat 90. XX w. poprawiła się kondycja drzewostanów sosnowych, a pod koniec wieku – stan większości lasów, szczególnie tych z dużym udziałem dębów. Podobne zmiany zaobserwowano na początku XXI w. Po początkowym pogorszeniu nastąpiła wyraźna poprawa. Okresy pogorszenia stanu zdrowotnego lasów wykazują związek z okresami o mniejszych sumach opadów atmosferycznych. Porównując stan drzewostanów w poszczególnych zlewniach Wisły, można powiedzieć, że te w górnej części zlewni odznaczają się większym stopniem uszkodzenia [Jabłoński i in. 2010].

W ciągu minionych 10 lat nie nastąpiły istotne zmiany w infrastrukturze melioracji podstawowych. Rozwinięto natomiast małą retencję. W dużej mierze wynika to z programu rozwoju małej retencji realizowanego od 1997 r. w oparciu na porozumieniu między Ministrem Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej a Ministrem Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 21.12.1995 r. Zaobserwowano poprawę struktury bilansu wodnego, ograniczenie skutków powodzi i suszy w małych zlewniach rzecznych. Nastąpiła też poprawa warunków wilgotnościowych gleb do produkcji rolniczej i zwiększenie uwilgotnienia siedlisk hydrogenicznych [Mioduszeński i in. 2009a].

#### **4. Przyszłe kierunki zmian zagospodarowania**

Przedstawione powyżej zmiany pokrycia terenu nie mogą być w prosty sposób ekstrapolowane na kolejne lata. Przyszłe zmiany mogą następować w innym tempie i w innych kierunkach. Wynika to m.in. ze zmieniających się uwarunkowań

społeczno-gospodarczych. Ogromna liczba czynników warunkujących zagospodarowanie sprawia, że jego zmiany są trudne do prognozowania. Autorzy *Zaktualizowanej koncepcji...* [2005] przewidują, że w ciągu najbliższych 15 lat nastąpią szybkie i radykalne przemiany struktury przestrzenno-funkcjonalnej Polski. Uważają, że zagospodarowanie kraju powinno być tak kształtowane, aby umożliwić osiągnięcie trwałego, wysokiego tempa wzrostu gospodarki, przy jednoczesnym zapewnieniu poprawy stanu środowiska przyrodniczego.

Prognozowane są dalsze zmiany systemu osadniczego. Na terenach wiejskich będzie on zmierzał do komasacji osadnictwa. Zgodnie ze *Zaktualizowaną koncepcją...* [2005] proces ten umożliwi bardziej racjonalną obsługę siedlisk przez sieci infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej. Nadal będzie postępował proces koncentracji ludności i działalności gospodarczej w dużych miastach i ich sąsiedztwie. W związku z coraz mniej komfortowymi warunkami życia w centrach dużych miast mieszkańcy będą się stopniowo przenosili do mniejszych miast satelitarnych.

Ze względu na rosnącą mobilność społeczeństwa konieczna będzie budowa nowych szlaków komunikacyjnych oraz podnoszenie parametrów tych już istniejących. Remonty dróg pozwolą na zmniejszenie ich niekorzystnego oddziaływania na środowisko. Wynika to z przepisów ochrony środowiska zobowiązujących inwestorów do wykonywania licznych zabezpieczeń, które nie były wcześniej wymagane, m.in. systemów oczyszczania ścieków wód opadowych. Infrastruktura techniczna towarzysząca nowym szlakom komunikacyjnym w znaczącym stopniu ogranicza ich niekorzystne oddziaływanie na środowisko.

Na zagospodarowanie przestrzenne i jego zmiany wpływ mają i będą miały również zmiany warunków klimatycznych. Starkel i Kundzewicz [2008] zwracają uwagę na konieczność podejmowania działań adaptacyjnych związanych ze zmianami klimatu. Proponują m.in. wprowadzenie zadrzewień śródpolnych, zmniejszenie areалу gruntów ornych i dostosowanie upraw do ekstremalnych warunków pogodowych.

Na pojezierzach może być konieczne dostosowanie upraw i typu użytków zielonych do zmieniających się warunków, wahań termicznych oraz opadowych. Może to polegać m.in. na stopniowym wprowadzaniu gatunków roślin rosnących dotąd w południowej i zachodniej Polsce [Starkel, Kundzewicz 2008].

Starkel i Kundzewicz [2008] proponują ograniczenie gęstości dróg w obszarach górskich w związku z tym, że przyspieszają one spływ powierzchniowy. Należy zatrzymywać wody gruntowe, a meliorować jedynie stoki osuwiskowe, zagrażające budownictwu i infrastrukturze. Konieczne jest zaprzestanie zabudowy terenów sąsiadujących z rzekami (ze względu na zagrożenie zalaniem podczas wezbrań) oraz stromych stoków (ze względu na groźbę powstawania osuwisk).

Ważne jest wycofywanie zabudowy i infrastruktury z zagrożonych terenów zalewowych, szczególnie w aglomeracjach miejskich. Sieć kanalizacyjna oraz elementy szlaków komunikacyjnych, takie jak przepusty i mosty, powinny być poddane modernizacji, tak aby były przystosowane do odprowadzania wody z gwałtownych opadów o dużym natężeniu. Zwraca się także uwagę na konieczność przeznaczania większych obszarów na tereny zielone i zadrzewienia oraz na po-

trzebę modernizacji budownictwa mieszkaniowego w związku z możliwością wystąpienia wzmożonego efektu miejskich wysp ciepła [Starkel, Kundzewicz 2008].

Zmiany będą następowały także w obrębie powierzchni zalesionych. Krajowy Program Zwiększania Lesistości (KPZL) przewidywał zalesienie w całej Polsce 680 tys. ha gruntów porolnych i nieużytków do 2020 r. W 2002 r. plan dodatkowo uzupełniono o kolejne 100 tys. ha. Trzeba jednak zwrócić uwagę, że obecnie zalesiana jest zdecydowanie mniejsza powierzchnia niż przewidywana w KPZL. Przykładowo w 2008 r. zalesiono zaledwie 25% powierzchni pierwotnie zakładanych, a plan na lata 1995–2008 zrealizowano jedynie w 78%. Tak więc uzyskanie zakładanych na początku wielkości zalesień wydaje się mało realne. Przewiduje się jednak wzrost powierzchni lasów dostępnych do użytkowania oraz wzrost wielkości pozyskiwanego drewna. Specjaliści nie spodziewają się znaczącego wpływu zmian klimatu na stan lasów w dorzeczu Wisły. Uważają, że nie powinno też nastąpić pogorszenie kondycji lasów. Przewidywane zmiany klimatu (przede wszystkim wzrost temperatury) będą miały pozytywne przełożenie na zasoby drzewne, wyrażające się m.in. zwiększoną wielkością przyrostu miąższości. Podkreśla się jednak, że przy podwojeniu koncentracji CO<sub>2</sub> w atmosferze należy spodziewać się znaczących zmian w naturalnych zasięgach gatunków [Jabłoński i in. 2010].

Ekspertyza Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych (IMUZ) dotycząca stanu melioracji podstawowych na obszarze dorzecza Wisły [Mioduszewski i in. 2009a] wskazuje na konieczność przeprowadzenia istotnych zmian w systemach melioracyjnych. Nie chodzi jednak o ich rozbudowę. Konieczna jest przede wszystkim modernizacja już istniejących i użytkowanych oraz likwidacja niewykorzystywanych już obiektów. Ważne jest przystosowanie sieci melioracyjnej również do funkcji nawadniającej (obecnie większość starych systemów charakteryzuje się jedynie odwadniającym działaniem). Zwraca się uwagę na brak prognoz dotyczących kierunków rozwoju rolnictwa. Utrudnia to zaplanowanie rozwoju systemów melioracyjnych. Przewiduje się, że wiele z nich będzie renaturyzowanych lub przebudowywanych na potrzeby środowiska. Rolnictwo na mniejszym obszarze będzie natomiast intensyfikowane, m.in. przez wprowadzanie systemów nawodnień. Będą one rozwijane przede wszystkim w oparciu na poborze płytkich wód podziemnych i wykorzystaniu małych zbiorników retencyjnych. W ciągu 10 lat prognozowane jest zwiększenie powierzchni nawadnianej do 3% gruntów użytkowanych przez rolnictwo. Jest to wartość charakterystyczna dla krajów Unii Europejskiej, o klimacie zbliżonym do naszego. Duży wpływ na gospodarkę wodną w rolnictwie mogą mieć zmiany klimatu, szczególnie jeśli nastąpi zwiększenie ewapotranspiracji, przy jednoczesnym zmniejszeniu ilości opadów w okresie wegetacyjnym [Mioduszewski i in. 2009a]. Z tego powodu konieczny jest dalszy rozwój małej retencji.

## **5. Podsumowanie**

Pokrycie terenu zależy od szeregu czynników społeczno-ekonomicznych oraz środowiskowych. Jednocześnie ma ogromny wpływ na funkcjonowanie środowi-

ska, w tym w szczególności na zasoby wodne i obieg wody. Analizowanie zachodzących zmian oraz odpowiednie kształtowanie zagospodarowania terenu może ograniczyć niekorzystny wpływ człowieka na środowisko i zasoby wodne. Jest to szczególnie ważne, gdyż Polska należy do krajów o stosunkowo niewielkich zasobach wodnych.

W zagospodarowaniu dorzecza Wisły można zaobserwować podobną strukturę jak w całej Polsce. Dominują grunty orne i lasy. Znaczne obszary zajęte są również przez łąki. Ze względu na uwarunkowania środowiskowe najbardziej rolniczym charakterem odznacza się zlewnia dolnej Wisły, natomiast największą leśnością – zlewnia górnej Wisły.

Zaprezentowane analizy zmian pokrycia, wykonane na podstawie produktów programu CORINE Land Cover, nie dały w pełni satysfakcjonujących wyników. Ze względu na założenia techniczne projektu możliwe było wyróżnienie zmian pokrycia, które zaszły jedynie na dużych powierzchniach, pominięte zostały natomiast te mniejsze, lecz w skali całego dorzecza – znacznie liczniejsze. Możliwe było jednak określenie ogólnych kierunków przekształceń. Grunty orne przeznaczone były pod łąki, sady i plantacje, a także zabudowywane. Nastąpił wzrost leśności. W ekspertyzach zewnętrznych stwierdza się konieczność rozwoju małej retencji, który jest szczególnie istotny jeśli chodzi o kształtowanie zasobów wodnych oraz ochronę przed powodzią.

Przyszłe zmiany pokrycia terenu będą prawdopodobnie następować w innym tempie i w innych kierunkach niż dotychczas. Wynika to m.in. ze zmieniających się uwarunkowań społeczno-gospodarczych. W przytoczonych opracowaniach można znaleźć informacje o prognozowanych zmianach. Nadal będzie zmniejszał się areal gruntów orných. Wzrośnie powierzchnia i zróżnicowanie gatunkowe lasów. Postępował będzie również proces urbanizacji kraju.

Konieczne będzie ograniczanie zabudowy na terenach zalewowych. Ważne okażą się również inwestycje związane z gospodarką wodną i systemami melioracji, które pozwolą m.in. na zwiększenie zdolności retencyjnych. Niezależnie od kierunku zmian, istotne jest, aby następowały one zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska.

# **Infrastruktura hydrotechniczna w dorzeczu Wisły**

*Tomasz Walczykiewicz, Ilona Biedroń, Jadwiga Łaciak,  
Łukasz Woźniak*

## **1. Ogólna charakterystyka zabudowy hydrotechnicznej dorzecza**

Dorzecze Wisły, zgodnie z jego podziałem na Wisłę górną, środkową i dolną, charakteryzuje się różnym stopniem i rodzajem zabudowy hydrotechnicznej. Znaczny stopień zabudowy nie tylko koryta Wisły, lecz także jej dopływów występuje w obszarze górnej Wisły, gdzie zmiany w naturalnych charakterze cieków są spowodowane dużymi potrzebami wodnymi oraz znaczną zmiennością przepływów, w tym występowaniem zdarzeń ekstremalnych – powodzi i susz. Na obszarze tym zbudowano szereg dużych wielofunkcyjnych zbiorników zaporowych – w tym największy w Polsce zbiornik Solina; uregulowano również wiele cieków. Regulacja rzek i potoków górskich, często niedostosowana do naturalnej dynamiki cieków, powoduje przyspieszony odpływ, ogranicza zagrożenie powodziowe tylko lokalnie, ale tym samym stwarza problemy w dolnych odcinkach zlewni. Wiele z tych obiektów obecnie nie spełnia założonych uprzednio funkcji i powoduje znaczną erozję poniżej budowli poprzecznych, równocześnie obniżając poziom wód gruntowych i zwiększając transport rumowiska.

Zabudowa hydrotechniczna Wisły środkowej związana jest przede wszystkim z żeglugą turystyczną – na Kanale Augustowskim, w systemie Jezior Mazurskich i Kanale Żerańskim w rejonie Warszawy. Funkcjonują tu wielozadaniowe zbiorniki retencyjne i podpiętrzone jeziora służące głównie celom żeglugowym. Wiele rzek tej części dorzecza Wisły zabudowanych jest poprzecznie jazami, na których często zlokalizowane są małe elektrownie wodne.

Dolna Wisła najbardziej zabudowana jest na obszarze Żuław Wiślanych. Występujące tam obiekty hydrotechniczne pełnią przede wszystkim funkcję ochrony przeciwpowodziowej i przeciwsztormowej. Przy większości tych obiektów znajdują się śluzy żeglugowe, które wykorzystywane są w celach rekreacyjnych i turystycznych. Jedynym znaczącym obiektem hydrotechnicznym jest stopień wodny Włocławek ze zbiornikiem przepływowym. Był pierwszym i do tej pory jedynym

stopniem projektowanej kaskady żeglugowo-energetycznej dolnej Wisły, eksploatowanym już ponad 40 lat.

## **2. Zabudowa hydrotechniczna osi Wisły**

Teoretycznie Wisła umożliwia połączenie najbardziej bogatych w surowce i uprzemysłowionych obszarów Polski południowej z centrum kraju i z Morzem Bałtyckim, dając możliwość jej włączenia w ogólnokrajowy system transportowy, a także w ogólnoeuropejski system dróg wodnych. Obecnie jednak Wisła nie spełnia tych wymogów z uwagi na brak warunków żeglugowych. Turystyka, rekreacja i przewozy transportowe (głównie materiały budowlane, tj. żwir, piasek i drewno) odbywają się najczęściej na krótkich trasach w rejonie Gdańska, Warszawy, Bydgoszczy, Krakowa, Płocka i Torunia.

Początkowy odcinek Wisły, zwany Małą Wisłą, ma charakter osobnego dopływu [Punzet 1982]. Jest to odcinek o długości 105,6 km, który sięga do ujścia Przemszy. Zlokalizowane są tutaj dwa zbiorniki wodne – Wisła Czarne oraz Goczałkowice. Zbiornik Wisła Czarne powstał u zbiegu Wisłki Białej i Czarnej – wypływających na stokach Baraniej Góry. Jego podstawowym zadaniem było zaopatrzenie w wodę miejscowości Wisła oraz ochrona przeciwpowodziowa. Zbiornik Goczałkowice spełnia funkcje: zaopatrzenia w wodę Śląska, ochrony przeciwpowodziowej, a dodatkowo wyrównania przepływów poniżej zbiornika. Odcinek Małej Wisły charakteryzuje się licznymi przegradami poprzecznymi (regulacja stopniowa), charakterystycznymi dla górskich dopływów Wisły.

Od ujścia Przemszy zaczyna się skanalizowany odcinek Wisły uznany za żeglowny – droga wodna górnej Wisły – potencjalnie umożliwiający transport barkami o ładowności 1000 ton. Na odcinku od Oświęcimia do Krakowa (92 km rzeki) Wisła jest zabudowana sześcioma stopniami wodnymi (Dwory, Smolice, Łączany, Kościuszkó, Dąbie, Przewóz), składającymi się z jazów i śluz. W skład drogi wodnej wchodzi 17-kilometrowy kanał żeglugowo-energetyczny Łączany-Skawina i dwa krótsze kanały żeglugowe śluz: Dwory i Smolice. Droga wodna poniżej Krakowa do ujścia Sanny ma charakter swobodnie płynącej rzeki, gdzie jedyną przegradą jest próg piętrzący w Połańcu, umożliwiający pobór wody dla elektrowni cieplnej o tej samej nazwie.

Pierwszy odcinek Wisły do połączenia z kanałem Łęczyńskim, ma parametry drogi wodnej klasy IV, kanał Łączany – od wlotu w cofce jazu Łączany do ujścia do Wisły – parametry klasy II, a odcinek Wisły do stopnia wodnego Przewóz ma parametry klasy III, co oznacza, że głębokości tranzytowe wahają się między 1,8 a 2,8 m, natomiast szerokość szlaku żeglownego w granicach od 25,0 do 40,0 m. Problematyczne jest jednak utrzymanie właściwych parametrów danego odcinka zgodnie z obowiązującą na nim klasyfikacją i zapewnieniem głębokości tranzytowych. Utrudnienia w żegludze towarowej i pasażerskiej są spowodowane powstaniem odsypisk w korycie rzeki i zamuleniem awanportów śluz oraz głęboką erozją poniżej stopnia Przewóz.

Stopnie wodne na Wiśle górnej zbudowano w latach 1949–2003. Docelowo zakładano realizację 16–18 stopni i pomocniczej infrastruktury (łącznie z uwzględnieniem projektowanego Kanału Krakowskiego i stopnia Niepołomice, ujętego w *Programie ochrony przed powodzią górnej Wisły*. Taka zabudowa umożliwiałaby transport wodny barkami o ładowności 3500 ton.

Uregulowany odcinek Wisły środkowej – między ujściem Sanu a ujściem Wieprza zapewnia jedynie żeglugę pasażerską i rekreacyjną. W przeszłości planowano tutaj, w zależności od wariantu, od 8 do 11 stopni wodnych. Na wysokości Warszawy Wisła łączy się Kanałem Żerańskim z Jeziorem Zegrzyńskim, powstałym w wyniku spiętrzenia wód Narwi i Bugu stopniem Dębe.

Pośród 8 stopni wodnych mających stanowić kaskadę dolnej Wisły zbudowano tylko jeden – stopień Włocławek. Tworzy on zbiornik o charakterze przepływowym, spełniający parametry V klasy żeglowności, którego cofka sięga do Płocka. Oprócz zapewnienia warunków dla żeglugi (głównie cele rekreacyjne) jest wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej. Jednocześnie stwarza możliwości poboru wody do celów komunalnych, przemysłowych i rolniczych oraz – ostatnio – łagodzenia zagrożenia powodziowego. Problemy eksploatacyjne dotyczące stopnia są związane z erozją poniżej jego dolnego stanowiska, zmianą reżimu lodowego (powódź zatorowa w 1982 r.), pogorszeniem jakości wody i zmianami w ekosystemie. Wskazuje się, że erozja poniżej dolnego stanowiska może prowadzić do zagrożenia stateczności stopnia. Jednym z analizowanych rozwiązań może być budowa kolejnego stopnia poniżej, w rejonie Nieszawy, w celu lepszego wykorzystania dolnej Wisły do celów gospodarczych (energetyka, żegluga, zaopatrzenie w wodę, rekreacja) [Maciejewski, Majewski 2011].

Wisła dopiero poniżej Torunia kwalifikuje się do II klasy dróg wodnych. Na wysokości Bydgoszczy łączy się Kanałem Bydgoskim i z Notecią. Bydgoski Węzeł Wodny łączy dorzecze Wisły z dorzeczem Odry. Na ujściowym odcinku, poniżej ujścia Nogatu, Wisła spełnia wymogi III klasy, a Martwa Wisła – V klasy. Drogi wodne w delcie Wisły funkcjonują pod nazwą Gdańskiego Węzła Wodnego.

### **3. Zbiorniki zaporowe**

Na obszarze Wisły górnej i środkowej znajduje się łącznie kilkadziesiąt zbiorników zaporowych, które w większości wypadków pełnią kilka funkcji: przeciwpowodziową, zaopatrzenia w wodę, wyrównania przepływów, energetyczną czy też rekreacyjną. Większość zbiorników zaporowych w południowej części dorzecza została zlokalizowana na prawostronnych dopływach Wisły. Funkcjonowanie zbiorników zlokalizowanych na górskich dopływach odgrywa szczególną rolę w trakcie wezbrań powodziowych, kiedy odpowiednie sterowanie zbiornikami w całym systemie może ograniczyć zagrożenie.

W przypadku Wisły górnej szczególne znaczenie ma retencjonowanie wody przez zbiorniki, przy czym jej ilość jest znacznie mniejsza niż ich potencjalne możliwości.



Na obszarze Wisły środkowej zasoby wodne są gromadzone m.in. w 3 dużych zbiornikach: Siemianówka, Dębe (Zb. Zegrzyński) na Narwi i Sulejów na Pilicy.

Na szczególną uwagę wśród obiektów hydrotechnicznych zlokalizowanych w środkowej części dorzecza Wisły zasługują jeziora nadpiętrzone. Jednym z głównych powodów, dla którego retencjonuje się wodę w tego typu zbiornikach, jest wykorzystanie zgromadzonych zapasów do celów rolniczych. Odpowiednie sterowanie zainstalowanym na odpływie jazem umożliwia (w mniejszym stopniu niż w przypadku pozostałych zbiorników zaporowych) regulację przepływów w rzekach w trakcie suszy oraz łagodzenie fali powodziowej. Zretencjonowane w ten sposób zasoby wodne pozwalają na utrzymywanie odpowiedniej głębokości na szlakach żeglownych. Dodatkowo obiekty te pełnią funkcję rekreacyjną oraz przyczyniają się do rozwoju lokalnej turystyki.

Zbiorniki zlokalizowane na obszarze Wisły dolnej, ze względu na ich niewielką liczbę, nie mają znaczącego wpływu na zmniejszenie zagrożeń powodziowych oraz nie odgrywają istotnej roli w wykorzystaniu gospodarczym.

#### **4. Pozostała zabudowa hydrotechniczna**

Opisane wyżej zbiorniki zaporowe nie są jedynymi obiektami hydrotechnicznymi zlokalizowanymi w dorzeczu Wisły. Do pozostałej zabudowy należy zaliczyć: progi, jazy, stopnie regulacyjne i zapory przeciwrumowiskowe. Oprócz zabudowy poprzecznej koryta rzek są regulowane poprzez zabudowę podłużną.

Szczególnie ważnymi obiektami dla żeglugi śródlądowej są jazy wraz ze śluzami. Piętrząc wodę w korytach rzek, utrzymują poziom wody umożliwiający żeglugę. Charakterystyczną cechą obszaru Wisły środkowej, ze względu na rozwinięty system kanałów oraz popularność żeglugi śródlądowej, jest lokalizacja znacznej liczby jazów (ruchomych i stałych) oraz śluz.

Oprócz jazów, w obszarze dorzecza Wisły jest wiele obiektów hydroenergetycznych, których liczba jest zróżnicowana w zależności od części dorzecza.

Na obszarze górnej Wisły znajduje się kilka dużych elektrowni wodnych zlokalizowanych na największych rzekach: Dunajcu, Sanie, Sole i Rabie. W tej części dorzecza Wisły na górskich dopływach istnieje również kilkadziesiąt małych elektrowni wodnych (MEW). Ich moc zainstalowana jest mniejsza od 5 MW. Na obszarze Wisły dolnej funkcjonuje ok. 20 elektrowni wodnych, z których największą moc ma hydroelektrownia we Włocławku (160 MW). Wśród pozostałych jedynie 9 obiektów odznacza się mocą instalowaną powyżej 1 MW.

Najwięcej małych elektrowni wodnych jest zlokalizowanych na obszarze Wisły środkowej, ale tylko dwie mają moc powyżej 0,5 MW.

#### **5. Możliwe zmiany zagospodarowania dorzecza Wisły w zakresie infrastruktury hydrotechnicznej**

Analizując możliwe zmiany zagospodarowania dorzecza Wisły w zakresie infrastruktury hydrotechnicznej, przyjęto następujące założenia:

- podobnie jak w całym projekcie określono perspektywę roku 2030 jako realną do prowadzenia takich badań,
- w zakładanej perspektywie nie zaistnieją uzasadnione ekonomicznie i ekologicznie przesłanki do integracji trzech części dorzecza (górnej, środkowej i dolnej Wisły) w jeden spójny system rzeczny oparty na systematycznej, kompleksowej zabudowie hydrotechnicznej i wsparty odpowiednią infrastrukturą towarzyszącą,
- w konsekwencji wymienione części dorzecza będą stanowić w dalszym ciągu odrębne obszary nie tylko ze względu na charakterystykę fizjograficzną, lecz także infrastrukturę hydrotechniczną,
- w analizach należy uwzględnić uwarunkowania: historyczne, uwarunkowania wynikające z polityki wodnej Unii Europejskiej i tworzonej polityki wodnej kraju, planistyczne i czasowe oraz finansowe.

## **6. Uwarunkowania możliwych zmian**

### **6.1. Uwarunkowania historyczne**

W Polsce, z racji rozbiorów, rozwój gospodarki wodnej widoczny w krajach Europy Zachodniej został znacznie spowolniony lub wręcz zanikł [Walczykiewicz 2007]. Rozbiory oznaczały dla Polski nie tylko utratę niepodległości, lecz także włączenie jej terenów do trzech państw o różnym poziomie rozwoju społeczno-gospodarczego i odmiennych systemach zarządzania. Na przełomie XVIII i XIX w. państwa europejskie tworzyły podstawy nowoczesnej, zintegrowanej infrastruktury technicznej. Działania w gospodarce wodnej podejmowane na terenach dawnej Polski były podporządkowane celom państw zaborczych. Sytuacja przedstawiała się najgorzej na ziemiach byłego zaboru rosyjskiego, obejmującego znaczną część analizowanego obszaru dorzecza Wisły, głównie środkowej. Niepodległość i tworzenie podstaw państwowości postawiło przed władzami wiele zadań, zmierzających do zintegrowania ziem wchodzących przez dziesiątki lat w skład trzech różnych organizmów państwowych. Mimo wielu lat, które upłynęły od tego czasu, nadal zauważalne są różnice w ich stanie zagospodarowania, w tym w zakresie infrastruktury hydrotechnicznej. Również okres po II wojnie światowej nie sprzyjał realizacji inwestycji, mimo że zainicjowano wówczas szereg programów dla dorzecza Wisły, w tym drogę wodną górnej Wisły czy kaskadę dolnej Wisły, których jednak nie ukończono.

### **6.2. Uwarunkowania wynikające z polityki wodnej Unii Europejskiej**

*Projekt Polityki wodnej państwa* [2011] oparto na unijnej idei zrównoważonego rozwoju, która integruje działania polityczne, gospodarcze i społeczne, z zachowaniem równowagi przyrodniczej, w celu zagwarantowania możliwości zaspokajania podstawowych potrzeb poszczególnych społeczności lub obywateli.

Wobec powyższego wszelkie działania powinno cechować podejście całościowe do szeroko pojętej ochrony środowiska i do zasobów wodnych, gospodarki wodnej i związanej z nią ochrony zasobów wodnych przed zanieczyszczeniami, z uwzględnieniem zrównoważonego rozwoju. Obecna polityka wodna jest oparta na połączeniu rozwoju gospodarczego i wymagań środowiskowych. Wynika to także z przekonania, że jednym z najważniejszych wskaźników jakości życia człowieka jest jakość środowiska, które go otacza. Wewnętrzne mechanizmy Ramowej Dyrektywy Wodnej 2000/60/WE (RDW) ustalające cele środowiskowe umożliwiają wystarczającą elastyczność w uwzględnianiu różnych rodzajów użytkowania wód, w tym dla celów związanych z ochroną przed powodzią, hydroenergetyką i żegluga. Podejmowane obecnie w Polsce decyzje w sprawach inwestycyjnych, w tym dla dorzecza Wisły, muszą stanowić kompromis uwzględniający nie tylko oczekiwania różnych grup społecznych, historyczne uwarunkowania, lecz także wymagania wdrażanej polityki Unii Europejskiej.

### **6.3. Uwarunkowania planistyczne i czasowe**

Obowiązujące przepisy dotyczące spełniania wymogów środowiskowych znacznie wydłużają przygotowanie realizacji inwestycji. Ponadto wymagana jest spójność sektorowych dokumentów planistycznych i nadrzędność planu gospodarowania wodami dla dorzecza wobec innych planów z zakresu gospodarki wodnej. Zapomina się, że plan ten RDW określa się jako swoisty *master plan* dla dorzecza (*river basin management plan* – plan zarządzania dorzeczem). Jest w nim miejsce na nowe inwestycje (plany inwestycyjne), definiowane jako nowe modyfikacje hydromorfologiczne, uzasadnione względami społecznymi i cywilizacyjnymi oraz poparte analizami ekonomicznymi uwzględniającymi koszty środowiskowe. Wdrożenie tych mechanizmów w kolejnych cyklach planowania wymagać będzie również czasu. W konsekwencji, w stosunku do praktyki z lat ubiegłych, należy spodziewać się wydłużenia fazy planowania i przygotowania inwestycji przy jednoczesnym skróceniu etapu ich realizacji.

### **6.4. Uwarunkowania finansowe**

Należy przyjąć, że wykonanie znacznej części inwestycji hydrotechnicznych w dalszym ciągu oparte będzie na budżecie państwa i funduszach Unii Europejskiej. Dla części z nich można liczyć na wsparcie grup kapitałowych zainteresowanych ewentualnymi zyskami. Może to dotyczyć niektórych inwestycji hydroenergetycznych (elektrownie wodne oraz współlistniejące z nimi stopnie wodne i zbiorniki). Poza spełnieniem istotnych wymagań środowiskowych w tym zakresie konieczne więc będzie zapewnianie finansowania z wymienionych źródeł, co wymaga w obecnej i przewidywanej perspektywie nadania gospodarce wodnej wysokiej rangi w kraju i konsekwentnej poprawy sytuacji budżetowej w Polsce i Unii Europejskiej w świetle obecnego kryzysu.

## 7. Możliwe zmiany w infrastrukturze hydrotechnicznej

Uwzględniając przyjęte założenia, przedstawiono poniżej w sposób ramowy możliwe zmiany w infrastrukturze hydrotechnicznej dotyczące zarówno ogólnie całego obszaru dorzecza, jak i – tylko jego części.

### Dorzecze Wisły

W perspektywie 2030 r. można oczekiwać:

- działań sprzyjających ochronie przeciwpowodziowej, głównie przez poprawę i rozbudowę systemu obwałowań,
- wzrostu produkcji energii odnawialnej dzięki budowie kolejnych elektrowni wodnych,
- odbudowy ciągłości cieków przez wprowadzenie rozwiązań technicznych udrażniających cieki i umożliwiających migrację ryb zgodnie z wymaganiami Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW, 2000),
- uzasadnionej ekonomicznie, gospodarczo i technicznie rozbiórki obiektów niespełniających żadnych funkcji gospodarki wodnej,
- renowacji zabytków kultury hydrotechnicznej,
- budowy systemów małej retencji i renowacji systemów melioracyjnych wspierających odporność na zmiany klimatu.

Aktualnie w skali całego dorzecza nie ma żadnego programu, który całościowo obejmowałby wszystkie zadania gospodarki wodnej. *Program dla Wisły i jej dorzecza 2020* [2004], który powstał z inicjatywy Związku Miast Nadwiślańskich w 2000 r., nie doczekał się aktualizacji, a tym samym realizacji. Działania inwestycyjne w skali zlewni czy województwa są podejmowane w każdym z analizowanych obszarów. Najczęściej są związane z ochroną przeciwpowodziową czy realizacją celów RDW.

Poniżej przedstawiono wybrane zadania i główne programy inwestycyjne dla poszczególnych części dorzecza Wisły, których przeprowadzenie lub zakończenie przewidziano do 2030 r.

### Górna Wisła

Działania w obszarze górnej Wisły w znaczny sposób skupią się na ograniczeniu zagrożenia powodziowego. W najbliższej przyszłości zakończona będzie budowa zbiornika Świnna Poręba na rzece Skawie. Do podstawowych funkcji zbiornika będzie należeć ochrona przed powodzią doliny Skawy oraz doliny Wisły poniżej ujścia Skawy przez zapewnienie w zbiorniku rezerwy 24–60 mln m<sup>3</sup>. Zbiornik, podobnie jak inne na tym obszarze, będzie wielozadaniowy. Jego praca umożliwi wyrównanie przepływów poniżej, a zgromadzone zasoby wodne będą mogły być wykorzystane podczas suszy. Poza tym zbiornik będzie wykorzystywany do produkcji energii elektrycznej oraz w celach rekreacyjnych. W sierpniu 2011 r. Rada Ministrów przyjęła *Program ochrony przed powodzią w dorzeczu górnej Wisły* [Program... 2011]. Obejmuje on obszar pięciu województw: małopolskiego, podkarpackiego, śląskiego i świętokrzyskiego oraz części lubelskiego.

Jest to program inwestycyjny, który zakłada m.in. regulację koryt rzek, budowę zbiorników retencyjnych oraz ochronę mieszkańców dużych aglomeracji miejskich przed powodzią. Zaplanowane działania są nakierowane m.in. na powiększanie przepustowości koryta rzeki, powstawanie kolejnych kanałów, modernizację i rozbudowę obecnego systemu obwałowań. Zaplanowano zarówno inwestycje na Wiśle, jak i na tych dopływach, które stanowią znaczące zagrożenie i ryzyko powodziowe, tj. Dunajec, Nida, Nidzica, Przemsza, Raba, San, Skawa, Soła i Wisłoka.

Program składa się z dwóch części: zadań realizowanych w latach 2011–2020 oraz 2021–2030. Zawiera listę 39 zadań inwestycyjnych, z czego:

- 6 zadań dotyczy zabezpieczenia doliny górnej Wisły przed zagrożeniem powodziowym – Oś I,
- 8 zadań – zabezpieczenia przed powodzią aglomeracji miejskich powyżej 100 tys. mieszkańców (Kraków, Katowice, Kielce, Bielsko-Biała, Rzeszów, Tychy, Tarnów i zespół miast: Będzin, Dąbrowa Górnicza, Mysłowice i Sosnowiec) – Oś II,
- 25 zadań – obniżenia zagrożenia powodziowego w układzie zlewniowym – Oś III.

Główne inwestycje zaplanowane w ramach I Osi to m.in. budowa i modernizacja obwałowań i ewentualna budowa polderów jako alternatywy dla Kanału Krakowskiego, budowa stopnia Niepołomice i modernizacja stopni Dwory i Smolice oraz zwiększenie stałej rezerwy przeciwpowodziowej na zbiorniku Goczalkowice.

Zadania z Osi II, zaplanowane dla śląskich miast i Kielc, wiążą się z zastosowaniem środków zwiększających retencję wód opadowych i przepustowość istniejącego systemu odpływu wód burzowych. W Tarnowie i Rzeszowie zaplanowano m.in. prace regulacyjne. Zakres inwestycji związanych z ochroną Krakowa przed powodzią jest w tej grupie zdecydowanie największy i obejmuje m.in. budowę Kanału Krakowskiego odciażającego Wisłę w części śródmiejskiej.

W ramach zmniejszenia zagrożenia w układzie zlewniowym przewidziano inwestycje związane m.in. z budową suchych zbiorników przeciwpowodziowych i zbiorników retencyjnych z funkcją przeciwpowodziową, w tym: Kąty-Myscowa na Wiśloce, Dukla na Jasiołce i Rudawka Rymanowska w zlewni rzeki Wisłok.

Koszt realizacji programu oszacowano na ok. 13 151 mln zł, w tym w pierwszym okresie ponad 8872 mln zł, w drugim – ponad 4279 mln zł. Źródłem finansowania będą m.in. środki publiczne (w tym budżet państwa) i fundusze Unii Europejskiej.

### Środkowa Wisła

W celu zwiększenia bezpieczeństwa ludności zamieszkującej obszar Wisły środkowej w kwietniu 2011 r. z inicjatywy ministrów: spraw wewnętrznych i administracji oraz środowiska, oraz wojewody mazowieckiego powstała koncepcja *Program bezpieczeństwa powodziowego w dorzeczu Wisły środkowej*. Obejmuje siedem województw w dorzeczu środkowej Wisły: kujawsko-pomorskie, lubelskie,

łódzkie, mazowieckie, podlaskie, świętokrzyskie, warmińsko-mazurskie. W założeniu *Program...* ma być projektem rządowym i zgodnie z harmonogramem prac ma zostać przedstawiony do akceptacji Rady Ministrów do końca 2013 r.

Zgodnie z przepisami znowelizowanego *Prawa wodnego* program kładzie nacisk na obowiązek uchwalania planów zagospodarowania przestrzennego, ograniczanie zabudowy na terenach zalewowych w celu obniżenia strat powodziowych, opierając się na zasadach zintegrowanego zarządzania gospodarką wodną. Będzie uwzględniać szkolenia dla mieszkańców terenów zagrożonych powodzią, usprawnienie systemu monitorowania i ostrzegania oraz zwiększenie naturalnej retencji zlewni m.in. przez zalesianie.

Prace projektowe wraz z kompleksową oceną oddziaływania na środowisko i konsultacjami społecznymi przewidziano w 2012 r. Z uwagi na zakładane finansowanie *Programu...*, m.in. ze środków unijnych, musi on przejść w kolejnym etapie ocenę zgodności ze *Strategią Rozwoju Kraju*. Zakłada się realizację *Programu...* do końca 2030 r.

#### Dolna Wisła

Na obszarze dolnej Wisły na szczególnie zagrożenie powodzią są narażone Żuławy Wiślane. Jest ono zróżnicowane pod względem przyczyn i potencjalnych skutków. Ze względu na równinny i depresyjny charakter obszaru Żuław cechą charakterystyczną powodzi występujących na tym obszarze jest stagnacja oraz utrudniony spływ wód powodziowych do koryt rzek oraz Zatoki Gdańskiej.

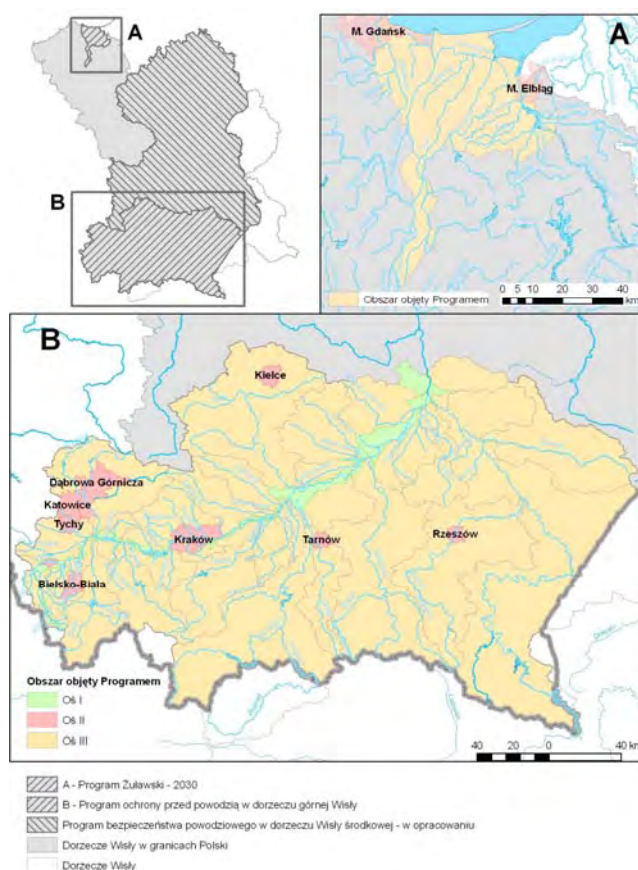
W celu usprawnienia oraz ochrony gospodarczego i społecznego rozwoju regionu istotne jest stworzenie odpowiedniej ochrony przeciwpowodziowej na tym obszarze. Całościowe zabezpieczenie Żuław przewidziano na lata 2009–2030 w ramach *Programu Żuławskiego – 2030*. Przedsięwzięcie będzie realizowane w dwóch lub trzech etapach (etap I – do 2015 r., etap II – 2016–2022, etap III – 2023–2030) [Kompleksowe... 2010].

W ramach etapu I planuje się wykonać zadania, które ujęto w formie projektu *Kompleksowego zabezpieczenia przeciwpowodziowego Żuław*. Realizacja obejmie 43 zadania/przedsięwzięcia polegające na modernizacji istniejącej infrastruktury przeciwpowodziowej. Obejmują one działania polegające na:

- zwiększeniu bezpieczeństwa przeciwpowodziowego Gdańskiego Węzła Wodnego,
- poprawie zabezpieczenia przeciwpowodziowego przed zagrożeniem pochodzącym od Wisły oraz Zalewu Wiślanego
- zwiększeniu bezpieczeństwa przeciwpowodziowego wewnątrz obszaru Żuław Wiślanych,
- stworzeniu systemu monitoringu ryzyka powodziowego dla obszaru objętego *Programem...*

Jednym z najistotniejszych efektów realizacji *Programu...* będzie zwiększenie ochrony przeciwpowodziowej dla blisko 250 tys. mieszkańców tego obszaru. W ramach prowadzonych prac planuje się zmodernizować ok. 400 km wałów prze-

ciwpowodziowych, przebudować lub odbudować ok.60 stacji pomp, a także ponad 300 obiektów hydrotechnicznych, przebudować ok.260 km rzek i potoków, przebudować lub odbudować ok. 600 km kanałów melioracyjnych. Kolejnym istotnym elementem planowanej zabudowy hydrotechnicznej na dolnej Wiśle jest prawdopodobne wykonanie stopnia w Nieszawie. Do najważniejszych powodów, dla których od wielu lat planuje się budowę tego stopnia, jest wsparcie funkcjonowania zbiornika we Włocławku, który zaplanowano i oddano do użytku z założeniem budowy kolejnych stopni poniżej. W ostatnich latach ta inwestycja budzi coraz większe zainteresowanie różnych grup kapitałowych, m.in. gdańskiej grupy ENERGA SA, znaczącego dostawcy energii elektrycznej. Jednym z istotnych celów wybudowania kolejnego stopnia na Wiśle miałyby być elektrownia wodna.



Rys. 1. Istotne programy inwestycyjne do zrealizowania w dorzeczu Wisły w perspektywie 2030 r.

## 8. Podsumowanie

Koncepcja perspektywicznego programu zagospodarowania dorzecza Wisły powinna być zgodna ze strategią rozwoju Polski. Obecnie w Ministerstwie Rozwo-

ju Regionalnego trwają prace nad tworzeniem 9 strategii zintegrowanych. Poruszane są w nich kwestie dotyczące m.in. wzrostu udziału transportu wodnego śródlądowego w przewozach ładunków i pasażerów czy też racjonalnej gospodarki zasobami naturalnymi, w tym gospodarki wodnej.

Brak strategii na poziomie państwa może skutkować brakiem programu dla dorzecza Wisły, który całościowo obejmowałby wszystkie zadania gospodarki wodnej. W związku z tym działania hydrotechniczne są podejmowane osobno w każdym z analizowanych obszarów i obejmują różne aspekty gospodarki wodnej. Największe przedsięwzięcia wiążą się z ochroną przeciwpowodziową, np. *Program dla górnej Wisły* [Program... 2011] czy Program Żuławski [Kompleksowe... 2010]. Z drugiej strony podejmowane są działania związane z osiągnięciem celów Ramowej Dyrektywy Wodnej, w tym udrożnienie szlaków wędrownych ryb.



# Powodzie i susze

*Michał Marcinkowski, Witold Jaworski, Jan Winter,  
Łukasz Chudy*

## 1. Wprowadzenie

Powodzie są jednym z największych zagrożeń naturalnych dla życia ludzkiego powodujących jednocześnie ogromne straty w gospodarce. Zgodnie z obowiązującym obecnie *Prawem wodnym*<sup>2</sup> powódź definiowana jest jako czasowe pokrycie przez wodę terenu, który w normalnych warunkach nie jest pokryty wodą, powstałe na skutek wezbrania wody w ciekach naturalnych, zbiornikach wodnych, kanałach oraz od strony morza, powodujące zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej [Prawo wodne 2001]. Podobną definicję można znaleźć w dyrektywie 2007/60/WE, tzw. Dyrektywie powodziowej. Nie ma w niej jednak zastrzeżenia, że o powodzi można mówić dopiero wtedy, gdy istnieje zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej.

Powodzie mogą być spowodowane czynnikami przyrodniczymi i (lub) antropogenicznymi. Do pierwszej grupy można zaliczyć duże opady (w tym opady nawalne), nagły wzrost temperatury powietrza powodujący topnienie pokrywy śnieżnej, zatory lodowe uniemożliwiające swobodny spływ wody i kry z wyższych części zlewni, a także sztormy powodujące spiętrzenie wód morskich. Wśród czynników antropogenicznych można wymienić zabudowywanie zlewni zmniejszające w znacznym stopniu infiltrację wód opadowych i przyspieszające ich spływ do rzek. Powodzie mogą być też spowodowane przekształceniem koryt rzecznych, zmniejszającym ich przepustowość, oraz niewłaściwym sterowaniem rezerwą powodziową zbiorników retencyjnych.

O powodziach najczęściej mówi się w przypadku powstania znacznych wezbrań, na dużych lub średnich rzekach górskich i nizinnych, powodujących ogromne szkody społeczno-ekonomiczne. J. Ostrowski [1999] zwraca jednak uwagę, że

---

<sup>2</sup> Ostatnia nowelizacja *Prawa wodnego* miała miejsce 5 stycznia 2011 r. (Dz.U. 2011 nr 32 poz. 159).

występują one stosunkowo rzadko. Znacznie częściej mają miejsce lokalne powodzie w małych zlewniach np. powódź w Gdańsku w 2001 r. [Majewski 2010]. Są najczęściej spowodowane nagłymi, ulewnymi deszczami. Średnie roczne straty w skali kraju, wywołane lokalnymi powodziami, są istotnym elementem sumarycznych strat powodziowych. Trudniejsze jest też prognozowanie takich zdarzeń oraz zabezpieczanie się przed ich skutkami.

Zgodnie z *Prawem wodnym* przez obszary narażone na niebezpieczeństwo powodzi rozumie się, określone we wstępnej ocenie ryzyka powodziowego, takie, na których istnieje znaczące ryzyko powodzi lub jest prawdopodobne jego wystąpienie. Ryzyko powodziowe jest kombinacją prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi i jej potencjalnych negatywnych skutków dla życia, zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej. W ramach projektu KLIMAT nie oceniano ryzyka powodziowego. Jest to jednym z zadań projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju przed Nadzwyczajnymi Zagrożeniami), realizowanego obecnie przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy oraz Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej.

## **2. Powodzie historyczne**

Informacje o najdawniejszych powodziach można znaleźć w wielu kronikach. Są one niewątpliwie świadectwem wystąpienia tych zjawisk, ale trudno na ich podstawie oceniać i porównywać wielkość powodzi i strat. Wynika to z subiektywnego charakteru tego rodzaju relacji, które nie są podparte obiektywnymi pomiarami. Systematyczne obserwacje stanów wody rozpoczęto na wielu rzekach w XIX w. Największa znana powódź w Polsce, w tym na Wiśle, wystąpiła w sierpniu 1813 r. Spowodowała śmierć wielu osób oraz znaczne straty materialne. Zostało zniszczone wiele wałów przeciwpowodziowych i mostów. Zalane były liczne dzielnice mieszkalne i osiedla, w tym nadbrzeżne dzielnice Krakowa, gdzie wiele budynków zostało uszkodzonych. W Warszawie woda wdarła się na obszar niżej położonych dzielnic oraz okolic podmiejskich (m.in. na teren Wilanowa). Wezbranie to spowodowało także katastrofę w delcie Wisły [Mikulski 1962]. Kolejna duża powódź wystąpiła w lipcu 1844 r. W Warszawie kulminacja wezbrania miała miejsce 26–27 lipca. Jej prawdopodobieństwo określono jako raz na ok. 300 lat [Mikulski 1954]. Największy, po wezbraniu w 1813 r., zasięg terytorialny miała powódź z marca i kwietnia 1888 r. Objęła niemal cały obszar Polski nizinnej [Stachý i in. 1996]. Powodzie zatorowe wystąpiły na odcinku dolnej Wisły w 1829, 1840 i 1982 r. [Majewski 2009]. Znaczne wezbrania miały miejsce również w latach 1903, 1924, 1934, 1947, 1960, 1962, 1970, 1979, 1980, 1982, 1997, 2001, 2010.

W 1934 r. powódź dotknęła przede wszystkim Podkarpacie. Zginęło 55 osób, a woda wyrządziła ogromne straty gospodarcze. W środkowej i dolnej Wiśle wezbranie to nie było tak katastrofalne w skutkach, ponieważ z biegiem rzeki fala stawała się coraz bardziej płaska [Barczyk i in. 1999].

W styczniu 1982 r. w zlewni dolnej Wisły, w górnej części zbiornika Włocławek miała miejsce powódź zatorowa. Jej przyczyną było jednoczesne wystąpienie kilku niekorzystnych zjawisk hydrologiczno-meteorologicznych: nagłego spadku temperatury powietrza, intensywnego wiatru wiejącego wzdłuż zbiornika przeciwnie do kierunku przepływu oraz stosunkowo wysokiego przepływu (jak na zimową porę roku). Powodem były również pewne wady projektu stopnia Włocławek oraz wieloletnie zaniedbania eksploatacyjne zbiornika. W wyniku zatoru nastąpiło przełanie się wody przez zapory boczne. Zniszczeniu uległa lewobrzeżna zapora boczna, a woda zalała ponad 100 km<sup>2</sup> doliny, m.in. dzielnicę Płocka – Radziwie. Ewakuowano 14,5 tys. osób. Uszkodzonych zostało ponad 4,5 tys. budynków [Majewski 1985, Majewski 1997, Bednarczyk i in. 2006].

W marcu 1970 r. na Wiśle miała miejsce powódź roztopowa. Wystąpiła po wczesnej i mroźnej zimie, obfitującej w opady śniegu. Grubość pokrywy śnieżnej na północnym wschodzie dochodziła do 0,80 m. Ocieplenie spowodowało nagłe roztopy. W dorzeczu Wisły wysokie wezbrania wystąpiły na Wildze, Narwi z dopływami, w zlewni dolnego Bugu, na dopływach dolnej Wisły i na rzekach Pojezierza Mazurskiego. W kilkunastu miejscach wody przerwały wały przeciwpowodziowe. Zalane zostało 200 tys. ha użytków rolnych i podtopionych ok. 2 tys. gospodarstw. Konieczna była ewakuacja 1,5 tys. osób [Bednarczyk i in. 2006, Stachy i in. 1996].

Pół roku później, w lipcu 1970 r., powódź powstała w wyniku obfitych deszczów występujących w drugiej połowie miesiąca. Wezbranie objęło przede wszystkim karpacką część dorzecza Wisły. Wały powodziowe na Wiśle i dopływach zostały przerwane w 59 miejscach. Woda zalała niemal 160 tys. ha użytków rolnych, zerwanych zostało 241 mostów i zniszczonych 161 km dróg. W sumie ewakuowano 35 tys. mieszkańców [Bednarczyk i in. 2006, Stachy i in. 1996].

Jedna z najbardziej katastrofalnych powodzi w Polsce miała miejsce w 1997 r. Największe szkody spowodowała jednak w dorzeczu Odry. Przyczyną wezbrania były intensywne opady w zlewniach karpackich dopływów Wisły. Fala wezbraniowa, która powstała na Wiśle, charakteryzowała się długim czasem trwania kulminacji. Jej kształt i wielkość wynikały z przebiegu fal na poszczególnych dopływach oraz z pracy zlokalizowanych na nich zbiorników retencyjnych. Ostatnim dopływem mającym znaczący wpływ na kształt fali był Dunajec. Dalej fala wezbraniowa na Wiśle ulegała stopniowemu spłaszczeniu. Powódź ta spowodowała straty przede wszystkim w zlewni górnej Wisły. Łączna wartość strat w obrębie całego dorzecza wyniosła 2,1 mld zł. Woda zalała użytki zielone i grunty orne na powierzchni 142 tys. ha. Zniszczone zostały wały przeciwpowodziowe na długości 220 km, a także budynki mieszkalne, drogi i mosty [Bednarczyk i in. 2006].

Na przełomie lipca i sierpnia 2001 r. miało miejsce kolejne, duże wezbranie Wisły. Szczególnie groźne było w zlewni górnej i środkowej Wisły. Zginęły wówczas 33 osoby. Odnotowano ogromne straty materialne. Przyczyną powodzi były długotrwałe i obfite opady w lipcu. Długość fali wzdłuż biegu rzeki wynosiła ok. 300 km. Długotrwały wysoki poziom wody doprowadził do rozmycia wałów przeciwpowodziowych oraz zalania obszarów ujściowych dopływów. Konieczne było

kontrolowane przerywanie wałów w celu ochrony cenniejszych materialnie i kulturowo obiektów. W Warszawie zalane zostały jedynie tereny rekreacyjne, natomiast w Toruniu i Gniewie – dziesiątki domów [Bednarczyk i in. 2006].

Wezbranie Wisły w maju i czerwcu 2010 r. było jednym z największych od początku obserwacji hydrologiczno-meteorologicznych. W maju zarejestrowano w dorzeczu wysokie stany wód podziemnych i powierzchniowych. Zdolności retencyjne zlewni były niewielkie. Od połowy maja występowały znaczące ilości opadów. W ich wyniku wzrosły stany wody dopływów Wisły i uformowała się fala powodziowa. Odznaczała się gwałtownym, szybkim wzrostem stanu wody oraz powolnym opadaniem. Poziomy wody zbliżone do maksymalnych utrzymywały się przez 2–3 dni, a przekroczenie stanów alarmowych trwało 6–13 dni. Opady, które wystąpiły w zlewni górnej Wisły na przełomie maja i czerwca spowodowały uformowanie się następnej fali wezbraniowej [Śmiech 2011, Sasim, Walijeski 2011]. W związku ze znacznym wzrostem poziomów rzek oraz długim czasem utrzymywania się przekroczeń stanów alarmowych w dorzeczu Wisły w wielu miejscach doszło do przerywania wałów przeciwpowodziowych i zalania znacznych terenów. Wezbranie w 2010 r. jako jedno z nielicznych w ostatnich latach stanowiło realne zagrożenie dla Warszawy i okolic. W całym kraju powódź spowodowała śmierć 25 osób oraz utopienie ponad 222 tys. zwierząt hodowlanych i dzikich. Straty w skali kraju zostały wstępnie oszacowane na 12,8 mld zł [Biedroń i in. 2011].

### **3. Infrastruktura przeciwpowodziowa**

Infrastruktura przeciwpowodziowa w zlewni górnej Wisły obejmuje dwa podstawowe typy środków technicznych oddziałujących na odpływ powierzchniowy: zbiornikową retencję powodziową oraz wały przeciwpowodziowe. Funkcjonuje również rozwinięty system umocnień koryt rzek i potoków karpackiej części dorzecza. Stabilizują one koryta rzek w czasie wezbrań, dzięki czemu ograniczają uszkodzenia dróg, mostów i zabudowań znajdujących się w sąsiedztwie. Infrastruktura przeciwpowodziowa w zlewni górnej Wisły została omówiona m.in. w *Programie ochrony przed powodzią w dorzeczu górnej Wisły* [2011].

Rezerwa powodziowa w zlewni górnej Wisły jest niewielka w stosunku do zagrożenia powodziowego. Zbiorniki retencyjne mają w sumie 357,8 mln m<sup>3</sup> stałej pojemności powodziowej. Przy zwiększeniu rezerwy powodziowej zbiornika Rożnów do 80 mln m<sup>3</sup>, a zbiornika Świnna Poręba – do 60 mln m<sup>3</sup> sumaryczna pojemność powodziowa zbiorników wzrosłaby do 447,8 mln m<sup>3</sup>. J. Winter [2010] zwraca jednak uwagę, że jest to wartość jedynie teoretyczna. Po uwzględnieniu realnego wykorzystania rezerw pojedynczych zbiorników w celu obniżenia szczytu fali powodziowej wartość tej rezerwy wynosi niewiele ponad 250 mln m<sup>3</sup>, a po zwiększeniu rezerwy zbiornika Rożnów i uruchomieniu powiększonej rezerwy zbiornika Świnna Poręba – niecałe 350 mln m<sup>3</sup>. Wynika to z tego, że do dyspozycji są nie tylko rezerwy dużych zbiorników, lecz także średnich i małych, którymi można sterować w bardzo ograniczonym zakresie.

Budowę obwałowań górnej Wisły rozpoczęto w końcu XIX w. Wały wybudowane do II wojny światowej nie tylko nie odpowiadają obecnym wymaganiom, lecz także nie spełniały warunków wynikających z ówczesnego stanu wiedzy. W latach 1960–1990 wykonano odcinkowe wały na większości dopływów Wisły, szczególnie w ich ujściowych partiach. Ze względu na kryterium stanu technicznego – ich poziom ochrony jest znacznie niższy niż wynikałoby to z wysokości i trudny do oszacowania. Okresowe oceny stanu technicznego wałów często nie są wykonywane w pełnym zakresie ze względu na ograniczenia finansowe.

Ocena efektywności istniejącej infrastruktury przeciwpowodziowej przeprowadzona w latach 2006–2009 w ramach realizacji studiów ochrony przed powodzią wykazała, że w większości wypadków wały przeciwpowodziowe nie spełniają swej funkcji, gdyż rzędna ich korony jest zbyt niska, a stan techniczny korpusu nie odpowiada wymaganiom. Regulacje i umocnienia koryt także nie spełniają swojej funkcji i wymagają modernizacji oraz remontów, a w wielu przypadkach rozbiórki [Winter i in. 2010].

W zlewni środkowej Wisły najważniejszą rolę w ochronie przeciwpowodziowej odgrywają wały oraz zbiorniki retencyjne. Na tym obszarze rozwinięty jest również system urządzeń regulacyjnych i hydrotechnicznych, których zadaniem jest ochrona brzegów przed erozją oraz stabilizacja koryta w czasie wezbrania. Wisła środkowa jest niemal w całości obwałowana. Spośród pozostałych rzek regionu obwałowane są tylko te większe, przede wszystkim w pobliżu terenów najbardziej zurbanizowanych. Wstępne analizy prowadzone przy opracowywaniu *Programu bezpieczeństwa powodziowego...* wykazały, że długość istniejących wałów jest wystarczająca. Konieczna jest jednak ich modernizacja oraz weryfikacja rozstawu w dolinie Wisły. Około 1% długości wałów nie spełnia żadnych wymaganych parametrów. Połowa wymaga odbudowy lub modernizacji (368,3 km). Szczególnie zaniedbane i niespełniające parametrów są m.in. wały wsteczne niektórych dopływów Wisły, np. Kamienna, Zagożdżonka, Jeziorka. Trzeba podkreślić, że stan techniczny obwałowań wielu rzek dorzecza nie został określony [Program Bezpieczeństwa... 2011].

Na terenie zlewni Wisły środkowej zlokalizowanych zostało kilka zbiorników, które mają wpływ na redukcję fali wezbraniowej. Pełnią one przede wszystkim funkcję energetyczną i zaopatrzenia w wodę, a ich retencja powodziowa ma jedynie charakter regionalny lub lokalny. Do zbiorników mających największą stałą rezerwę powodziową należą: Wióry na Świślinie (19 hm<sup>3</sup>), Siemianówka na Narwi (14,4 hm<sup>3</sup>), Sulejów na Pilicy (9,22 hm<sup>3</sup>) [Program Bezpieczeństwa... 2011].

Większość budowli regulacyjnych w zlewni środkowej Wisły usytuowano na Wiśle, przede wszystkim na odcinku od ujścia Sanny do miejscowości Dęblin oraz na odcinku warszawskim. Znaczna liczba znajduje się również na Narwi, Bugu i Pilicy. Na innych rzekach (Pisa, Świślina, Wieprz, Kamienna) tego rodzaju obiekty ograniczono do opasek brzegowych, mających chronić brzegi przed erozją. Stan techniczny większości urządzeń regulacyjnych administrowanych przez RZGW uznano za niezadowalający. Stan budowli hydrotechnicznych określono jako dobry, natomiast budowli regulacyjnych – jako słaby. Stan techniczny obiektów hy-

drotechnicznych stale piętrzących wodę o klasie ważności I–III i IV oraz pozostałych o piętrzeniu wody powyżej 1 m (zbiorników wodnych małej retencji), które administrowane są przez wojewódzkie zarządy melioracji i urządzeń wodnych, oceniono jako zadowalający, dobry i bardzo dobry [Program Bezpieczeństwa... 2011].

W dolnym biegu Wisła została częściowo obwałowana i uregulowana. Budowle hydrotechniczne ograniczono do lokalnych umocnień brzegów i przetamowań koryt bocznych. Ponadto, w celu ochrony Żuław Gdańskich przed powtarzającymi się powodziami, w 1895 r. wykonano sztuczne ujście Wisły do Zatoki Gdańskiej, tzw. Przekop [Majewski, Stepnowski 2012].

Największym zbiornikiem w dorzeczu dolnej Wisły jest zbiornik Włocławek. Jego projektanci nie zakładali, że ma on pełnić funkcje przeciwpowodziowe. Mimo tego obecnie stosowana procedura pozwala na niewielkie spłaszczenie fali wezbraniowej. Przykładem może być tutaj druga fala (czerwcową) wezbrania w 2010 r. Maksymalna różnica między dopływem do zbiornika a przepływem przez stopień wynosiła wówczas 412 m<sup>3</sup>/s [Walczykiewicz, Rataj 2011].

#### **4. Ocena zagrożenia powodziowego**

Podstawowymi przyczynami wezbrań w dorzeczu Wisły są opady, roztopy i zatopy lodowe. W delcie Wisły zagrożenie jest również związane z występowaniem sztormów powodujących podnoszenie poziomu wody w ujściowych odcinkach rzek w wyniku spiętrzenia wód w Zatoce Gdańskiej.

Opady nawalne powodują gwałtowne, szybkie i często niespodziewane powodzie. Mają one jednak miejsce na stosunkowo niewielkich obszarach. Największe wezbrania tworzą się w wyniku długotrwałych, kilkudniowych opadów rozlewnych, które obejmują znaczny obszar. Katastrofalne powodzie opadowe występują w całym kraju.

Znacznie większą od przeciętnej podatnością na zagrożenie powodziowe w kraju charakteryzuje się zlewnia górnej Wisły. Wynika to z tego, że udział rocznego odpływu z tego obszaru w krajowym bilansie jest o 50% większy od udziału rocznego opadu w rejonie w stosunku do wielkości rocznego opadu w Polsce. Na tym obszarze wyższy od przeciętnego w kraju jest też potencjał zagrożenia powodziowego (ludność i jej mienie oraz potencjał gospodarczy). Wskaźnik gęstości zaludnienia w dorzeczu górnej Wisły przekracza o 40% średnią krajową [Winter i in. 2010].

Warunki środowiskowe na tym obszarze – liczne strome skaliste stoki oraz wąskie doliny o znacznych spadkach, sprzyjają szybkiemu spływowi śródpokrywowemu i powierzchniowemu. Powoduje to powstawanie gwałtownych, szybkich i wysokich fal wezbraniowych. Na tym obszarze występuje jeszcze jedno istotne zagrożenie niezwiązane bezpośrednio z wylewami rzek, lecz wynikające ze znacznego uwilgotnienia podłoża podczas długotrwałych, obfitych opadów – powstawanie osuwisk. W ciągu krótkiego czasu mogą one spowodować zniszczenie budynków, tym samym stanowiąc zagrożenie dla życia osób w nich przebywających.

W *Programie bezpieczeństwa powodziowego w dorzeczu Wisły środkowej* [2011] za obszar szczególnie narażony uznano Kotlinę Warszawską, ze względu na zbiegające się dopływy Wisły (Narew z Bugiem, Wkra). Trzeba podkreślić, że jest to jednocześnie obszar charakteryzujący się dużą gęstością zaludnienia. Zwrócono również uwagę na niewystarczającą ilość informacji z Ukrainy i Białorusi na temat działań podejmowanych w dorzeczu Bugu (szczególnie w okresie powodzi), co wpływa na obniżenie bezpieczeństwa powodziowego w polskiej części dorzecza.

W dorzeczu Wisły stosunkowo rzadko występują powodzie roztopowe i opadowo-roztopowe. W dolinach dużych rzek nizinnych, jak np. środkowa Wisła, przyjmują one jednak groźne rozmiary. Na średniej wielkości rzekach nizinnych (np. Pilicy, Bzurze, Wkrze) powodują podobne zagrożenia jak wezbrania opadowe [Iwiński i in. 2003].

Podczas wezbrań roztopowych mogą powstawać powodzie zatorowe. Często mają one miejsce m.in. na środkowej Wiśle i Narwi [Iwiński i in. 2003]. Zatory lodowe powstają zwykle na mieliznach, a także powyżej budowli piętrzących, np. powyżej zapory we Włocławku. Jedną z przyczyn powstawania zatorów jest to, że Wisła płynie z południa na północ. Wynika stąd różnica w czasie ruszenia lodów. Kiedy na południu następuje ruszenie i spływ, na północy utrzymuje się stała pokrywa lodowa [Majewski, Stepnowski 2012].

Zjawiska lodowe są jedną z podstawowych przyczyn katastrofalnych powodzi na dolnej Wiśle. Prognozowanie powstawania zatorów lodowych i ich skutków jest niezwykle trudne. Wynika to ze złożoności warunków meteorologicznych, hydrologicznych, morfologicznych i hydraulicznych [Majewski, Stepnowski 2012].

Zlewnia górnej Wisły jest zagrożona powodziami roztopowymi w najmniejszym stopniu. Wynika to z naturalnych warunków środowiskowych – znacznego zróżnicowania orograficznego terenu – sprawiających, że topnienie pokrywy śnieżnej postępuje na tym obszarze stopniowo. Z tego powodu wezbrania roztopowe charakteryzują się mniejszymi kulminacjami, jednak zwykle dłuższy jest czas ich trwania [Winter i in. 2010].

Obszarem szczególnie narażonym na powodzie wynikające z różnych przyczyn (opadowe, zatorowe, sztormowe) są Żuławy Wiślane. Wynika to ze specyficznych warunków środowiskowych tego terenu – niewielkich rzędnych terenu, licznych obszarów depresyjnych oraz gęstej sieci kanałów melioracyjnych. Wszystko to sprawia, że opracowanie kompleksowej ochrony przeciwpowodziowej tego terenu jest niezwykle trudne. Wymaga uwzględnienia wielu, niejednokrotnie sprzecznych czynników [Majewski, Stepnowski 2012].

Należy również zwrócić uwagę na zagrożenie powodziowe w miastach, szczególnie tych dużych, którego źródłem nie są wezbrane wody rzek lecz niewłaściwe gospodarowanie wodami opadowymi na terenie silnie przekształconym przez człowieka. W wielu miastach w dorzeczu Wisły funkcjonują stare sieci kanalizacyjne, przepusty, mosty, zaprojektowane na podstawie krótkich ciągów obserwacyjnych. Niejednokrotnie nie spełniają one obecnie obowiązujących norm. W związku z tym ulewne opady często powodują lokalne podtopienia.

Przewidywana większa częstotliwość zdarzeń ekstremalnych najprawdopodobniej spowoduje także częstsze powodzie, w tym także te lokalne, związane z opadami nawałnymi występującymi nad niewielkim obszarem. Możliwość występowania coraz częstszych anomalii meteorologicznych, m.in. nagłych skoków temperatury powietrza oraz wiatru, może wywoływać zagrożenia związane ze zjawiskami lodowymi na rzekach [Majewski, Stepnowski 2012].

Ponadto warto zwrócić uwagę, że wzrost zagrożenia powodzią często nie wynika z niekorzystnych warunków naturalnych, lecz z niewłaściwej gospodarki człowieka. Doliny rzeczne są zabudowywane (szczególnie w dużych miastach i ich najbliższym sąsiedztwie). Powoduje to ograniczenie przepustowości koryt rzecznych. Ogromne zagrożenie niesie ze sobą także odwadnianie terenów zurbanizowanych. Na obszarach miast naturalna infiltracja wód opadowych jest znacznie ograniczona. W krótkim czasie woda jest odprowadzana za pomocą burzowców do rzeki. Skrócony zostaje czas reakcji zlewni na opad i szybko formuje się wezbranie o kulminacji znacznie wyższej niż ta charakterystyczna dla warunków naturalnych. Ponadto zabudowywanie dolin rzecznych znacznie zwiększa straty powodowane przez powódzie.

## **5. Podsumowanie (powódzie)**

W ostatnich latach obserwuje się wzrost częstotliwości powodzi, ich przebieg staje się coraz bardziej gwałtowny, a straty w gospodarce większe. Wzrost zagrożenia powodziowego wynika m.in. z rozwoju infrastruktury towarzyszącej człowiekowi i zwiększającej się presji człowieka na doliny rzeczne.

Większość scenariuszy klimatycznych przewiduje w najbliższym okresie wzrost częstotliwości zdarzeń ekstremalnych. Można zatem spodziewać się również częstszych powodzi, tych dużych – obejmujących znaczne obszary oraz lokalnych – spowodowanych trudnymi do prognozowania deszczami nawałnymi. Istniejąca obecnie infrastruktura przeciwpowodziowa nie stanowi odpowiedniego zabezpieczenia. Konieczna jest jej modernizacja i podniesienie efektywności systemu ochrony oraz właściwe zagospodarowanie terenów zagrożonych. Należy zweryfikować plany działania, które ułatwiałyby podejmowanie decyzji podczas sytuacji kryzysowych. Istotna jest integracja planowania w gospodarce wodnej z planowaniem przestrzennym i gospodarczym, w szczególności określenie zasad planowania przestrzennego i użytkowania na obszarach zagrożonych powodzią. Konieczne jest ograniczenie presji osadniczej na tych terenach.

Na odcinkach rzek narażonych na występowanie powodzi związanych ze zjawiskami lodowymi (np. na dolnej Wiśle) konieczne jest utrzymanie sprawnej flotyli lodołamaczy. Są one jedynym sposobem przeciwdziałania tego rodzaju zagrożeniom. Ich właściwe działanie wymaga jednak utrzymania minimalnej głębokości wody, a więc prowadzenia systematycznych prac polegających m.in. na pogłębianiu i regulacji rzeki.

Ważne jest zwiększenie pojemności rezerw powodziowych w zlewniach. Jest to możliwe m.in. przez budowę systemów retencji technicznej, odbudowę retencji



naturalnej przez zwiększenie powierzchni lasów oraz obszarów podmokłych. Szczególną uwagę należy zwrócić na rozwój retencji wód opadowych na obszarach zurbanizowanych. Działania te pozwolą na opóźnienie i ograniczenie odpływu wód do rzek.

Naturalnych, okresowych wezbrań rzek nie można powstrzymać, nie można też w pełni się przed nimi zabezpieczyć. Z tego powodu konieczne jest położenie nacisku na edukację wszystkich grup społecznych – lokalnych władz i mieszkańców (dorosłych i dzieci). Pozwoli to na lepsze diagnozowanie sytuacji kryzysowych oraz usprawni działania podejmowane w momencie ich wystąpienia.

O dużej wadze zagrożeń powodziowych świadczą obecnie realizowane projekty: Informatyczny System Osłony Kraju przed Nadzwyczajnymi Zagrożeniami (ISOK), Program Bezpieczeństwa Powodziowego w zlewni Wisły górnej i Wisły środkowej oraz tzw. *Program Żuławski – 2030 (Kompleksowe zabezpieczenie Żuław do 2030 r., z uwzględnieniem etapu 2015)*. Ich wyniki, a przede wszystkim działania podejmowane na ich podstawie z pewnością pozwolą na ograniczenie zagrożenia powodziowego w dorzeczu Wisły.

## 6. Susze

Susza jest bardzo złożonym zjawiskiem, a jej skutki nie są natychmiastowe. Narasta stopniowo, a jej następstwa kumulują się i uwidaczniają po dłuższym czasie. Przez to często trudno jednoznacznie określić początek i koniec trwania suszy. W związku z tym trudno podać uniwersalną definicję suszy, ponieważ zależy to od specyficznych uwarunkowań danego obszaru [Łabędzki 2004].

W ustawie *Prawo wodne* w kilku paragrafach następują odwołania do suszy w kontekście ochrony przed powodzią i suszą oraz zapobiegania jej skutkom. Ochronie przed suszą poświęcony jest cały dział Vb. Stwierdzono w nim, że jest to zadanie organów administracji rządowej i samorządowej. Ochronę prowadzi się zgodnie z planami przeciwdziałania skutkom suszy na obszarach dorzeczy oraz w regionach wodnych. Za plany odpowiada prezes Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej – dla dorzeczy, i dyrektorzy regionalnych zarządów gospodarki wodnej – dla regionów wodnych. W przypadku wprowadzenia stanu klęski żywiołowej, w celu ograniczenia skutków suszy, art. 88 ustawy daje prawo dyrektorowi RZGW do wprowadzenia czasowego ograniczenia w korzystaniu z wód w zakresie poboru i sposobu gospodarowania wodą w zbiornikach retencyjnych. Z uwagi na to, że w czasie przepływów niżówkowych bardzo istotna jest dobra jakość wody możliwe jest także ograniczenie pozwolenia na wprowadzanie ścieków do wód lub do ziemi.

W art. 9 *Prawa wodnego* pojawia się wiele definicji, w tym – powodzi, nie jest natomiast powiedziane, co ustawodawca rozumie pod pojęciem suszy.

Nie została ustalona jedna obowiązująca definicja suszy. T. Tokarczyk [2011] stwierdza, że jako zjawisko powszechne, o wymiarze fizycznym i społecznym, susza przejawia się w różny sposób, w zależności od grupy, która się nią interesuje – dla meteorologów jest to okres z opadami niższymi od normy, rolnicy określają ją jako czas, w którym wzrost roślin jest zahamowany przez niewystarczającą wil-

gotność gleby, dla hydrologów wiąże się z przepływami niskimi oraz uszczuploną rezerwą zbiorników, dla gospodarki zaś to okres, kiedy zmniejszone zaopatrzenie w wodę wpływa na aktywność produkcyjną i konsumpcje. Taki sam podział znajdziemy w *Handbook of hydrology* [Maidment 1993], gdzie suszę podzielono na meteorologiczną, rolniczą, hydrologiczną i suszę w sensie gospodarczym.

T. Tokarczyk [2011] stwierdza, że *ocena suszy na podstawie przepływów stanowi podsumowanie rozwoju procesu suszy, obserwowany odpływ jest bowiem wynikiem procesów w zlewni*. Dlatego w zadaniu 9 projektu KLIMAT najważniejsze jest zdefiniowanie suszy hydrologicznej. Według T. Tokarczyk [2010] to zjawisko odnoszące się do okresu, gdy przepływy w rzekach spadają poniżej przepływu średniego (SSQ), a w przypadku przedłużającej się suszy meteorologicznej obserwuje się znaczne obniżenie poziomu zalegania wód podziemnych. Przepływy poniżej SSQ zwane są niżówkami płytkimi, natomiast gdy spadną poniżej SNQ (średni niski przepływ z wielolecia) – głębokimi. W Polskim prawodawstwie definicja suszy hydrologicznej znajduje się w *rozporządzeniu Ministra Środowiska z 22 sierpnia 2007 roku w sprawie podmiotów którym PSHM i PSH są obowiązane przekazywać ostrzeżenia, prognozy, komunikaty i biuletyny oraz sposobu i częstotliwości ich przekazywania* [Rozporządzenie...2007]. Określa ono stan suszy hydrologicznej jako zmniejszenie odpływu wód gruntowych do wód powierzchniowych i w efekcie zmniejszenie przepływu w rzekach co najmniej trzech zlewni monitorowanych przez podstawową sieć obserwacyjno-pomiarową PSHM do stanu poniżej odpowiadającego SNQ.

## **7. Analiza występowania susz w dorzeczu Wisły**

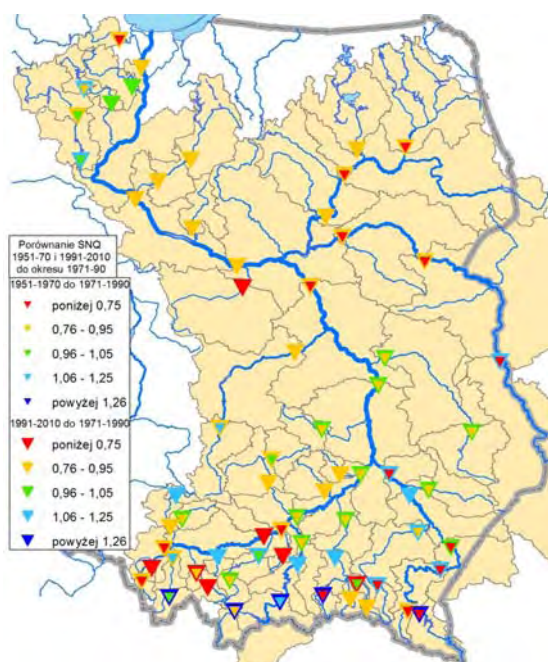
Dla wybranych stacji wodowskazowych określono SNQ w wieloleciu referencyjnym 1971–1990 oraz w dwudziestoleciu 1951–1970 i 1991–2010. Porównano SNQ do okresu referencyjnego projektu (rys. 1). Na wielu stacjach cechował się on wyższym SNQ (tab. 1).

Największą różnorodnością odznacza się dorzecze Wisły górnej. Występuje tam duże zróżnicowanie przestrzenne wskaźnika w obu okresach porównywanych z wieloleciem referencyjnym. Tłumaczy to teza A. Kasprzyka [2005]: *występowanie i kształtowanie susz w zlewni jest uzależnione od cech fizycznogeograficznych obszaru, głównie od warunków klimatycznych, charakterystyk hydrogeologicznych zlewni oraz od ukształtowania terenu i zagospodarowania jej powierzchni*.

Na stacjach w dorzeczu Wisły środkowej i dolnej przepływ średni niski okresu referencyjnego był w większości przypadków wyższy lub zbliżony do przepływu SNQ w okresach porównawczych. Świadczy o tym wskaźnik (poniżej 1) dla wielu stacji.

Dalszej analizie poddano dwa dwudziestolecia, 1971–1990, które jest referencyjnym wieloleciem dla projektu KLIMAT, i 1991–2010. Powszechnie uważa się, że suchymi latami w rozpatrywanych wieloleciach były: 1971, 1976, 1982-84, 1986, 1988-1995, 2000-2003, 2006. Oczywiście w innych latach także notowano niżówki. Rozkład susz wydaje się dosyć równomierny w dwóch analizowanych

dwudziestoleciach. Aby to sprawdzić dokonano analizy przepływów średnich dziennych dla okresu referencyjnego i dwudziestolecia 1991–2010. Wyróżniono niżówki, uznając je za zjawiska, w których przepływ średni dobowy przez co najmniej pięć kolejnych dób był niższy od SNQ dla danego okresu. Stwierdzono też, że dwa niezależne zjawiska muszą być oddzielone dwoma dniami z przepływem przekraczającym SNQ. Jeśli są przedzielone tylko jednym dniem, to tworzą jedno zjawisko. Dla każdego określono daty rozpoczęcia i końca, czas trwania niżówki, jej deficyt oraz najniższy dobowy przepływ i średni przepływ. Na mapie (rys. 2) pokazano przestrzenne zróżnicowanie czasu trwania i deficytu niżówek w porównywanych dwudziestoleciach.

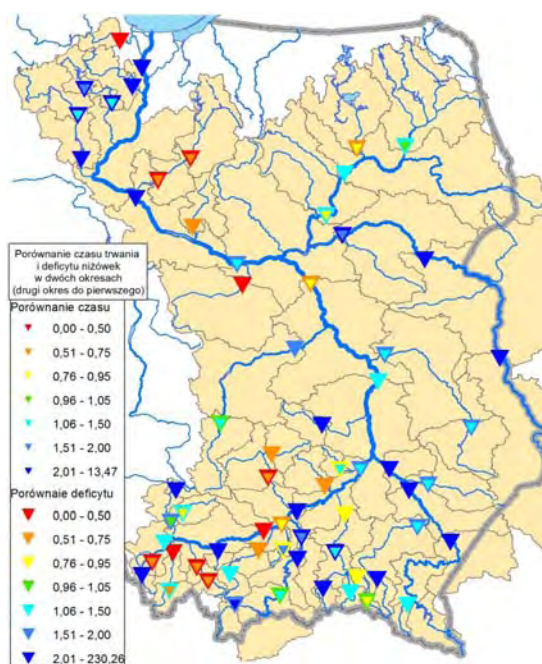


Rys. 1. Porównanie wskaźnika średniego niskiego przepływu (SNQ) w latach 1951–1970 i 1991–2010 do okresu 1971–1990

Tab. 1. Porównanie SNQ w latach 1951–1970 i 1991–2010 do okresu 1971–1990

Okresy porównawcze do 1971–90	Niższe SNQ wsk. < 0,95	Porównywalne wsk. (0,96–1,05)	Wyższe SNQ wsk. > 1,06
1951–70 <sup>3</sup>	49 stacji	7 stacji	4 stacji
1991–2010	36 stacji	14 stacji	18 stacji

<sup>3</sup> Dla 8 stacji nie określono SNQ z powodu braku danych w CBDH, w kilku przypadkach okres był niepełny.



Rys. 2 Porównanie czasu trwania i deficytu niżówek w okresie 1991–2010 do 1971–90

W okresie 1991–2010 odnotowano dłuższy czas trwania i większy deficyt niżówek na dwukrotnie większej liczbie stacji niż w wieloleciu 1971–1990 w stosunku do SNQ dla danego okresu. Tereny górskie i wyżynne dorzecza górnej Wisły cechują się o wiele większym zróżnicowaniem przestrzennym wskaźnika. Regiony na środkowej i dolnej Wiśle, z uwagi na mniejsze zróżnicowanie cech fizycznogeograficznych, są dużo większe, lecz odznaczają się dużym zróżnicowaniem wskaźnika.

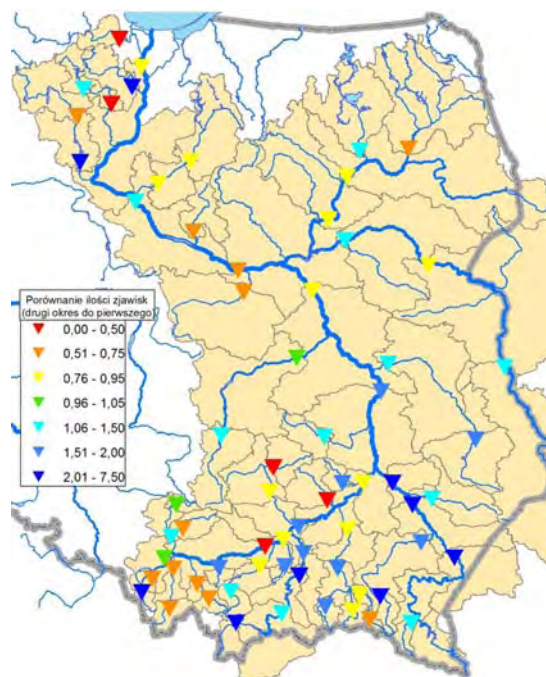
Tab. 2. Porównanie wskaźnika określającego stosunek sum czasu trwania i sum deficytu niżówek dla dwóch okresów 1991–2010 do 1971–1990

	wsk. < 0,95	wsk. (0,96–1,05)	wsk. > 1,06
Czas trwania <sup>4</sup>	21 stacji	2 stacje	41 stacji
Deficyt przepływu	19 stacji	3 stacje	42 stacji

Bardzo ciekawa jest analiza liczby zjawisk w dwóch porównywanych okresach. Rozpatrując drugi okres w stosunku do pierwszego, na 31 stacjach odnotowano zmniejszenie, a na 32 przyrost liczby zjawisk. Na trzech stacjach była ona taka sama, a na dwóch – nie stwierdzono ich w okresie referencyjnym. Wskaźnik

<sup>4</sup> Dla 4 stacji nie zanotowano zjawiska w danym wieloleciu.

ten jest bardzo zróżnicowany przestrzennie i nie zawsze liczba zjawisk jest wprost proporcjonalna do czasu trwania i deficytu niżówki.



Rys. 3. Porównanie liczby zjawisk w dwóch analizowanych okresach (1991–2010 do 1971–1990)

## 8. Podsumowanie (susze)

Powyższa analiza ukazuje ogromne zróżnicowanie przepływów niżówkowych, które jako wyznacznik suszy wskazują, że nie możemy jednoznacznie określić kierunku zmian jakie nas czekają w przyszłości. W przypadku zjawisk ekstremalnych, do których należy susza, bardzo ważne jest stałe monitorowanie i działania mające na celu złagodzenie skutków. Niestety w gospodarce wodnej przygotowanie zbiorników do przeciwdziałaniu suszy kłóci się z trzymaniem rezerwy przeciwpowodziowej. Dlatego tak istotne są dokładne długoterminowe prognozy meteorologiczne i hydrologiczne oraz operacyjny monitoring zjawisk.

W ramach projektu KLIMAT powstała strona internetowa, która ma na celu udostępnianie informacji o charakterystykach susz, ocenę intensywności suszy oraz prognozę. Serwis ten nie ogranicza się tylko do części prognostyczno-operacyjnej, ale zawiera także opis historyczny susz (okres przedindustrialny, okres objęty obserwacjami, okres badawczy). W części operacyjnej (stan aktualny) użytkownik ma dostęp do danych informujących go, na których stacjach wystąpiła susza meteorologiczna (wybrane stacje meteorologiczne) oraz na których stacjach mamy do czynienia z suszą hydrologiczną (wybrane wodowskazy).

# Scenariusze zmian w zasobach wodnych wynikające z możliwych zmian klimatu

*Ilona Biedroń, Tomasz Walczykiewicz*

## 1. Wprowadzenie

Istnieje ścisła relacja między prognozowanym rozwojem społeczno-gospodarczym i jego charakterem, mającym wpływ na scenariusze emisyjne gazów cieplarnianych, a zmianami klimatycznymi. Scenariusze (ang. *scenarios*), w kontekście projektu KLIMAT, to wizje przyszłości wraz z opisem wpływu czynników zewnętrznych na analizowany system. W ramach badań na świecie opracowano wiele wariantowych scenariuszy rozwojowych. Część z nich zawiera bezpośrednie odniesienia do zagadnień gospodarki wodnej.

Zasadniczo wśród scenariuszy można wyróżnić analizy globalne, kompletne, konstruowane w oparciu na dwóch podstawowych osiach niepewności charakteryzujących kierunki i trendy rozwojowe (oś globalizacja i regionalizacja oraz oś proaktywność i reaktywność). Scenariusze te nie dotyczą bezpośrednio gospodarki wodnej.

Ostatnie trzy dekady zmian klimatycznych mają istotny wpływ na systemy fizyczne i biologiczne. Europa ociepliła się o ok. 1°C podczas ostatniego stulecia – jest to więcej niż średnia światowa. Analizy statystyczne wskazują, że ryzyko rekordowych upałów, takich jak podczas lata 2003 r., wzrasta znacząco – jako konsekwencja zmian klimatu. W Europie Środkowej, do której należy również Polska wraz z dorzeczem Wisły, obserwuje się „wysuszenie” klimatu [Lorenc 2000]. Przejawem zmian klimatu w Polsce jest przede wszystkim rosnąca temperatura powietrza.

Metodykę opracowania zmian w zasobach wodnych w projekcie KLIMAT w skali całego kraju przedstawiono szczegółowo w cz. I monografii (*Zasoby wodne i prognoza ich zmian*), podobnie jak metodykę opracowania scenariuszy rozwoju społeczno-gospodarczego i scenariuszy wodnych (*Scenariusze rozwoju społeczno-gospodarczego i scenariusze wodne*). Przyjęto następujące założenia. System wodno-gospodarczy jest to system obejmujący zasoby wodne (powierzchniowe, podziemne), infrastrukturę (poboru, zrzutu, uzdatniania, zarządzania



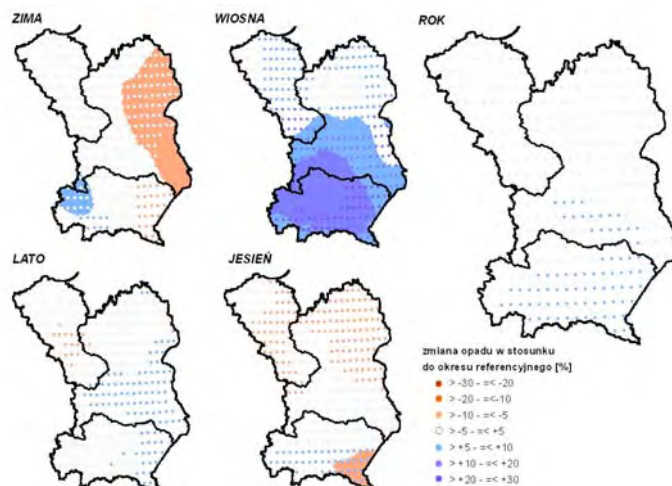
zasobami) oraz gospodarce – poprzez zgłaszane potrzeby zaopatrzenia w wodę o odpowiedniej jakości. W cz. I omówiono również wyniki przeprowadzonych analiz i różnice między scenariuszami

## 2. Scenariusze zmian opadów w dorzeczu Wisły

Przedstawiono możliwe scenariusze zmian w zasobach wodnych w odniesieniu do dorzecza Wisły. Na poniższych mapach zaprezentowano zmiany opadu w stosunku do okresu referencyjnego 1971–1990 dla dwóch modeli, które wykorzystano w projekcie KLIMAT i scenariuszy A2, B1 i A1B [Zmiany... 2011]:

- modelu statystycznego ECHAM-5 – wyniki przedstawiono w formie rastra,
- modelu RegCM – wyniki przedstawiono postaci punktów.

Na rys. 1–3 przedstawiono przestrzenie, jak mogłyby zmieniać się opady średnie. Wyniki modelu statystycznego ECHAM-5 w przypadku średnich rocznych opadów dla scenariuszy A2 i B1 nie pokazują zmian (w granicach błędu statystycznego od –5% do +5%). W przypadku scenariusza A1B średnie zmiany roczne, w szczególności dla środkowo-zachodniej, centralnej i północno-wschodniej części dorzecza Wisły, wskazują zmiany powyżej 5% w kierunku ujemnym. Dla tych samych charakterystyk, na podstawie wyników z modelu RegCM, zmiany układają w kierunku dodatnim, w szczególności dla obszaru górnej Wisły, sięgają miejscowo do 13% (scenariusz B1), jak również w scenariuszu B1 – przeważającej części dorzecza, czy bardziej lokalnie, jak w przypadku wyników dla scenariusza A1B.

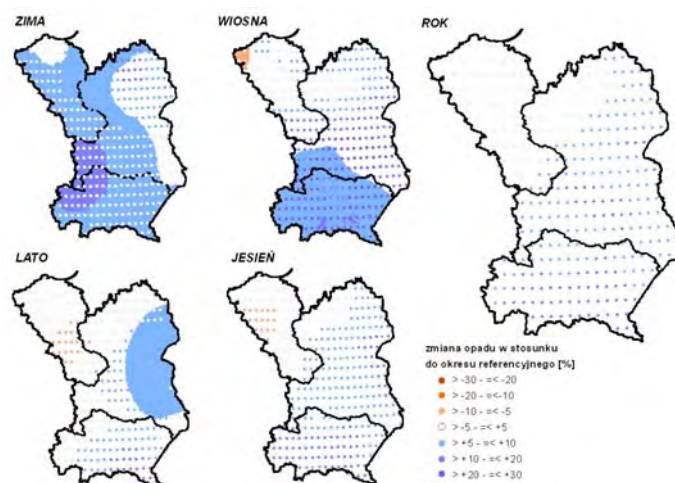


Rys. 1. Średnie procentowe zmiany opadów w obszarach dorzecza Wisły wg scenariusza A2 dla wielolecia 2011–2030 w stosunku do wielolecia referencyjnego 1971–1990

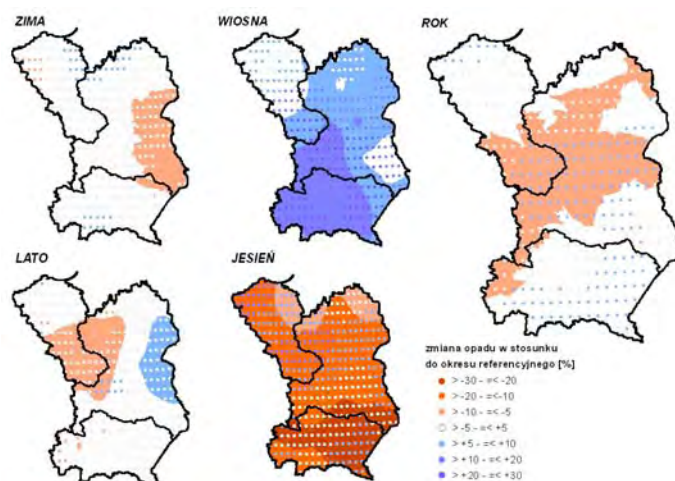
W tab. 1 zestawiono średnie sezonowe i roczne zmiany opadów dla wielolecia 2011–2030 w stosunku do okresu referencyjnego 1971–1990, określone dla anali-

zowanych obszarów Wisły górnej, środkowej i dolnej. Zestawiono zarówno skrajne wartości średnich zmian, jak i zmiany uśrednione dla obszarów.

Zgodnie z wnioskami zamieszczonymi we wcześniejszych rozdziałach wyniki obliczeń nie wskazują na istotne zmiany zasobów wód powierzchniowych w okresie 2011–2030 w stosunku do okresu referencyjnego. Średnie zmiany wysokości opadów dla wartości średnich rocznych w scenariuszach A2 i A1B nie przekraczają 10%, a dla scenariusza B1 – 15%.



Rys. 2. Średnie procentowe zmiany opadów w obszarach dorzecza Wisły wg scenariusza B1 dla wielolecia 2011–2030 w stosunku do wielolecia referencyjnego 1971–1990



Rys. 3. Średnie procentowe zmiany opadów w obszarach dorzecza Wisły wg scenariusza A1B dla wielolecia 2011–2030 w stosunku do wielolecia referencyjnego 1971–1990



Tab. 1. Średnie procentowe zmiany opadów w obszarach dorzecza Wisły dla wielolecia 2011–2030 w stosunku do okresu referencyjnego 1971–1990

Scenariusz		Średnie zmiany opadów	Górna Wisła		Środkowa Wisła		Dolna Wisła	
			Model					
			Statystyczny (%)	RegCM (%)	Statystyczny (%)	RegCM (%)	Statystyczny (%)	RegCM (%)
A2	wiosna	minimum	7	11	-2	3	-5	1
		maksimum	13	<b>25</b>	12	<b>23</b>	8	13
		średnia	11	-19	4	10	-2	8
	lato	minimum	-2	-5	-4	-5	-2	-5
		maksimum	1	9	3	10	2	7
		średnia	-1	4	0	4	1	-2
	jesień	minimum	-7	-2	-4	-9	-3	-7
		maksimum	-1	10	2	4	3	1
		średnia	-4	4	-1	-5	-1	-4
	zima	minimum	-5	-9	-9	-8	-3	-4
		maksimum	7	9	6	1	3	1
		średnia	1	-1	-4	-2	0	-3
	rok	minimum	0	2	1	-2	0	-3
		maksimum	2	10	2	7	2	4
		średnia	1	7	1	2	1	-1
B1	wiosna	minimum	4	17	-3	4	-7	2
		maksimum	11	<b>30</b>	7	<b>26</b>	4	18
		średnia	8	<b>23</b>	2	15	-2	7
	lato	minimum	-2	1	-2	-5	-3	-7
		maksimum	5	13	10	10	2	8
		średnia	1	7	4	5	-1	-2
	jesień	minimum	1	5	1	0	1	-8
		maksimum	4	15	5	12	3	9
		średnia	2	11	3	8	2	-1
	zima	minimum	5	-2	3	0	3	2
		maksimum	11	6	11	12	10	10
		średnia	9	1	6	6	7	5
	rok	minimum	1	6	2	1	2	-2
		maksimum	4	13	5	11	4	10
		średnia	3	11	4	8	3	1
A1B	wiosna	minimum	5	14	3	3	0	3
		maksimum	15	<b>27</b>	13	<b>25</b>	11	<b>25</b>
		średnia	12	<b>22</b>	7	16	3	11
	lato	minimum	-5	-7	-10	-6	-10	-5
		maksimum	2	4	8	8	3	6
		średnia	-2	-1	-1	1	-4	-1
	jesień	minimum	<b>-25</b>	-1	-16	-1	-13	7
		maksimum	-11	9	-3	14	4	19
		średnia	-17	5	-9	6	-4	11
	zima	minimum	-6	-5	-8	-6	-3	-8
		maksimum	2	9	2	9	3	10
		średnia	-2	0	-3	1	0	0
	rok	minimum	-7	1	-10	1	-10	0
		maksimum	6	9	-2	10	0	9
		średnia	-2	6	-5	5	-4	4

Dla dorzecza Wisły w przypadku zmian sezonowych modele wykazują ten sam trend dla wiosny – wzrost opadów; w przypadku pozostałych sezonów zmiany miejscowo się pokrywają, a także dają odmienne wyniki (np. jesień – scenariusz A1B), mogące wskazywać na zmiany bądź brak zmian zarówno w kierunku dodatnim, jak i ujemnym.

Przy założeniu, że istotne zmiany opadów to te powyżej 20%, wyniki modelu RegCM wskazują okres wiosenny jako ten, w którym te zmiany mogą lokalnie dotknąć praktycznie każdy z analizowanych obszarów dorzecza Wisły. Tylko dla obszaru górnej Wisły w każdym ze scenariuszy opady mogłyby wzrosnąć wiosną średnio o ok. 20%.

Przy takim samym założeniu istotne zmniejszenie wysokości opadów może wystąpić jesienią niemal na całym obszarze dorzecza, gdzie maksymalna wartość średniej zmiany dla sezonu mogłaby lokalnie osiągnąć nawet –25% (wynik z modelu statystycznego).

### **3. Podsumowanie**

Analiza wyników z modeli klimatycznych wykorzystanych w projekcie KLIMAT [Zmiany klimatu...2011] w skali analizowanych obszarów: górnej, środkowej i dolnej Wisły nie wskazuje na istotne zmiany dotyczące średnich opadów rocznych. W przypadku zmian sezonowych bywają one już wyraźniejsze i sięgają lokalnie nawet 30%.

Można przypuszczać, że ewentualne zmiany w zasobach wodnych będą dotyczyć rozkładu czasowego opadów przy niewielkich zmianach wartości średnich rocznych. Jednak w przyszłości zmiany, szczególnie w zlewni górnej Wisły (gdzie zasoby wód powierzchniowych charakteryzują się znaczną zmiennością ich występowania w czasie i nierównomiernym rozmieszczeniem), mogą teoretycznie powodować lokalne problemy.

# Odptyw jednostkowy ze zlewni różnicowych dorzecza Wisły

*Rafał Stepnowski, Michał Marcinkowski*

## 1. Wprowadzenie

W ramach prac badawczych projektu KLIMAT, w zadaniu 9 (*Perspektywiczne zagospodarowanie dorzecza Wisły wraz z systemem ocen wpływu inwestycji hydrotechnicznych na środowisko*) zrealizowano etap mający na celu określenie zmian zasobów wodnych Wisły i jej dopływów oraz zasobów dyspozycyjnych w obliczu możliwych zmian klimatycznych. W poniższym podrozdziale przedstawiono częściowe wyniki tych prac, dotyczące wielkości odpływu jednostkowego w zlewniach różnicowych w dwóch okresach 1971–1990 i 1991–2009 oraz przewidywanych zmian w latach 2011–2030.

Podstawą do przeprowadzenia analiz były dane o przepływach charakterystycznych, archiwizowane w Centralnej Bazie Danych Historycznych IMGW-PIB. Przed przystąpieniem do prac wytypowano 68 zlewni różnicowych zamkniętych profilami wodowskazowymi, dla których dysponowano ciągiem danych z lat 1971–2009. Dane za rok 2010, z uwagi na procedurę opracowywania i wprowadzenia do baz IMGW-PIB, nie mogły być w tym opracowaniu uwzględnione. Następnie wykonano mapy w środowisku GIS, na podstawie których obliczono powierzchnię zlewni różnicowych.

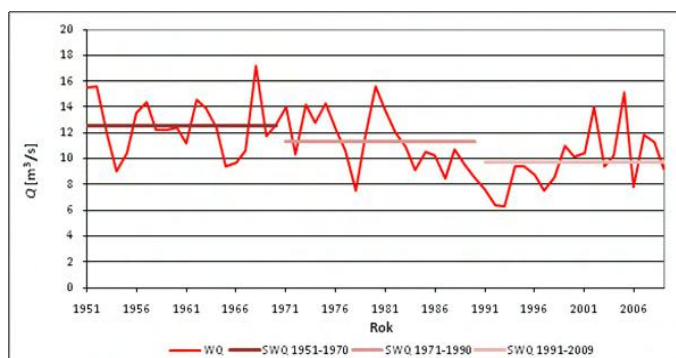
Wyniki analizy odpływu jednostkowego odniesiono do dwóch okresów 1971–1990 (okres referencyjny dla projektu KLIMAT) i 1991–2009, z wyszczególnieniem odpływu średniego rocznego oraz odpływu średniego w półroczach zimowym i letnim. Wyniki zilustrowano na mapach.

Zmiany charakterystyk zasobów wodnych Wisły i jej dopływów, dla przyjętych w projekcie scenariuszy emisyjnych A1B, A2 i B1, w horyzoncie czasowym 2011–2030 określono w stosunku do okresu referencyjnego 1971–1990. Podstawą były wyniki modelu statystycznego ECHAM-5 przedstawione w postaci wartości opadów w 54 punktach Polski. W pracach wykorzystano scenariusze opracowane dla skal czasowych rocznych i miesięcznych, z których wygenerowano zmiany dla półroczy hydrologicznych. Z uwagi na przyjęte założenie niezmienności warunków kształtujących odpływ w latach 2011–2030 zmiana opadu przekłada się na zmianę

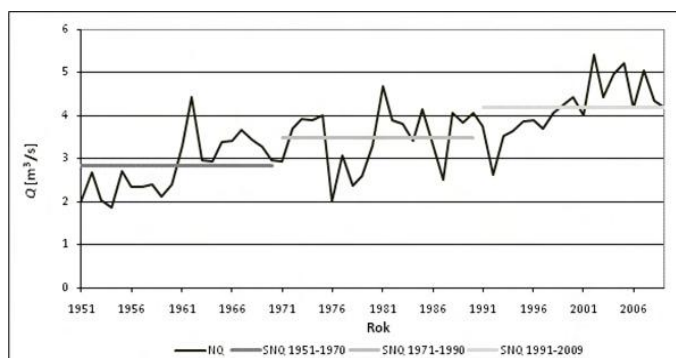
odpływu jednostkowego. Przedstawiono ją w postaci wartości procentowej – dodatniej, ujemnej bądź zerowej.

## 2. Analiza przepływów charakterystycznych w latach 1971–1990 i 1991–2009

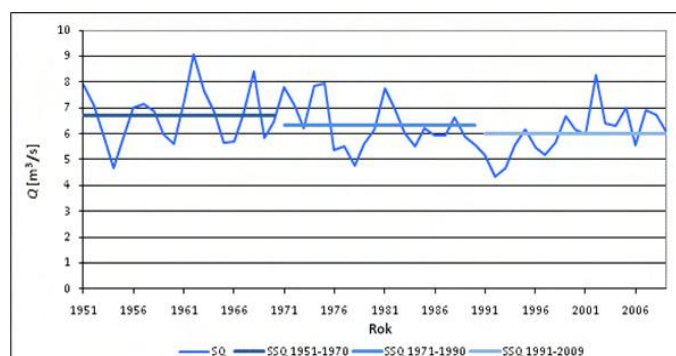
Podstawą do przygotowania opracowania na temat zmian odpływu jednostkowego było zestawienie informacji o charakterystykach średnich przepływów w 68 profilach wodowskazowych. W zależności od długości ciągów pomiarowych analizowano przepływy charakterystyczne SWQ (roczne oraz półroczne), SNQ (jw.) oraz SSQ (jw.) w okresach 1951–1970, 1971–1990 i 1991–2009. Wyniki zestawiono w tabelach (przykład tab. 1) oraz na wykresach (rys. 1–3), a następnie scharakteryzowano najistotniejsze zmiany. W związku z tym, że dla dużej części wodowskazów nie dysponowano ciągiem danych pomiarowych od 1951 r., odpływ jednostkowy obliczono tylko dla dwóch okresów 1971–1990 i 1991–2009.



Rys. 1. Przepływy maksymalne Wdy w profilu Czarna Woda w latach 1951–2009 [Opracowanie... 2011]



Rys. 2. Przepływy minimalne Wdy w profilu Czarna Woda w latach 1951–2009 [Opracowanie... 2011]



Rys. 3. Przepływy średnie Wdy w profilu Czarna Woda w latach 1951–2009 [Opracowanie... 2011]

Ogólnie analiza wykazała brak jednoznacznego trendu zmian średnich przepływów charakterystycznych w latach 1951–2009. W przypadku SWQ w 21 profilach wodowskazowych stwierdzono zmniejszenie się przepływu, w 5 – wzrost, a w pozostałych brak jednoznacznego trendu. Podobnie przepływy SWQ zmieniały się w odniesieniu do półroczy. W przypadku SNQ w 3 profilach odnotowano zmniejszenie się przepływu, a w 13 – wzrost. Podobnie przepływy SNQ zmieniały się w odniesieniu do półroczy. Przepływy SSQ zmniejszyły się w 13 profilach wodowskazowych, a wzrosły w 15. Podsumowując, można stwierdzić, że w przypadku profili, gdzie nastąpiły znaczniejsze zmiany w średnich przepływach z wielolecia, dotyczyły one zmniejszania się średnich SWQ oraz zwiększania się średnich SNQ. W większości profili zmiany średnich przepływów z wielolecia nie miały jednoznacznego trendu.

Tab. 1. Zestawienie średnich i ekstremalnych wartości przepływów Wdy w profilu Czarna Woda w latach 1951–2009 [Opracowanie...2011]

Przepływ charakterystyczny (m³/s)	1951–1970	1971–1990	1991–2009
Charakterystyki średnie			
SWQ	12,51	11,35	9,69
SWQ <sub>zima</sub>	12,26	10,64	9,39
SWQ <sub>lato</sub>	10,19	9,33	8,06
SNQ	2,83	3,47	4,18
SNQ <sub>zima</sub>	4,95	4,31	4,79
SNQ <sub>lato</sub>	2,87	3,50	4,28
SSQ	6,70	6,34	6,02
SSQ <sub>zima</sub>	7,77	7,16	6,53
SSQ <sub>lato</sub>	5,65	5,53	5,53
Charakterystyki ekstremalne			
WWQ	17,2		
NNQ	1,85		

### **3. Wyniki analiz odpływu jednostkowego w latach 1971–1990 i 1991–2009**

Średni roczny odpływ jednostkowy, wyrażony w l/s/km<sup>2</sup>, był bardzo zróżnicowany. Analizy potwierdziły, że największy odpływ jednostkowy występuje w zlewniach górskich, gdzie intensywny i szybki spływ wód opadowych w kierunku dolin rzecznych nie umożliwia retencjonowania wody powierzchniowej w glebie oraz przez roślinność, jak również poprzez proces ewapotranspiracji. Najniższy odpływ jednostkowy dotyczył natomiast dużych rzek, takich jak Narew, Bug, Wda, Drwęca oraz Wisła na odcinkach nizinnych, gdzie mało urozmaicona rzeźba terenu i nieduże jego wartości względne sprzyjają zatrzymywaniu wody opadowej i ograniczeniu jej spływu do rzek.

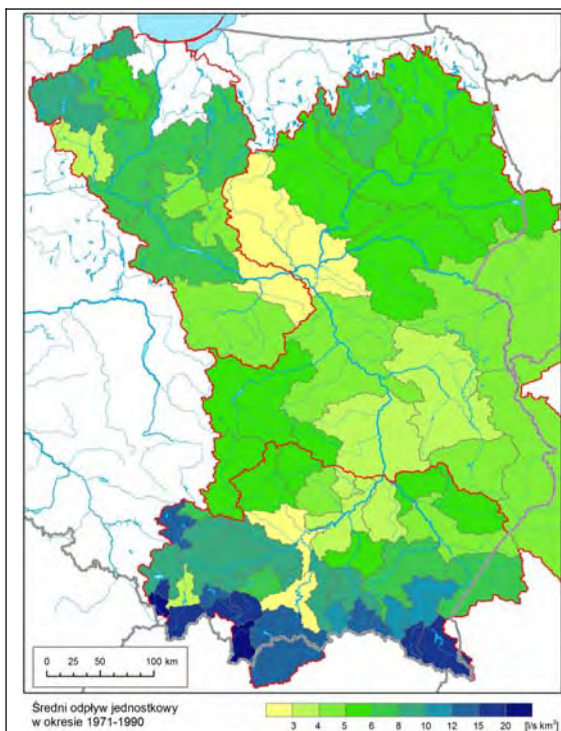
Dla okresu 1971–1990 średni roczny odpływ jednostkowy wahał się w granicach od 2 do ponad 20 l/s/km<sup>2</sup>. Średni odpływ w półroczu zimowym wyniósł od 0,9 do ponad 21 l/s/km<sup>2</sup>, natomiast w półroczu letnim – od 1,6 do ponad 26 l/s/km<sup>2</sup>. Analiza różnic odpływu jednostkowego w półroczach, dla poszczególnych profili wodowskazowych, nie wykazała dużych dysproporcji wartości. Ogólnie w półroczu zimowym odpływ jednostkowy był większy niż w półroczu letnim. Odwrotną zależność zanotowano w kilku profilach, m.in. w Nowym Targu i Nowym Sączu na Dunajcu oraz w Zboiskach na Jasiołce.

Dla okresu 1991–2009 średni roczny odpływ jednostkowy wyniósł od 1,4 do ponad 20 l/s/km<sup>2</sup>. Średni odpływ w półroczu zimowym wahał się od 0,8 do ponad 23 l/s/km<sup>2</sup>, natomiast w półroczu letnim od 1,4 do ponad 24 l/s/km<sup>2</sup>. W tym okresie zarejestrowano znacznie większe różnice w wartościach odpływu jednostkowego między półroczami; były one szczególnie wyraźne w profilach: Skoczów na Wiśle, Żywiec na Sole, Wadowice na Skawie czy Zboiska na Jasiołce. Podobnie jak w wieloletnim okresie 1971–1990 odpływ jednostkowy w półroczu zimowym był większy niż w półroczu letnim.

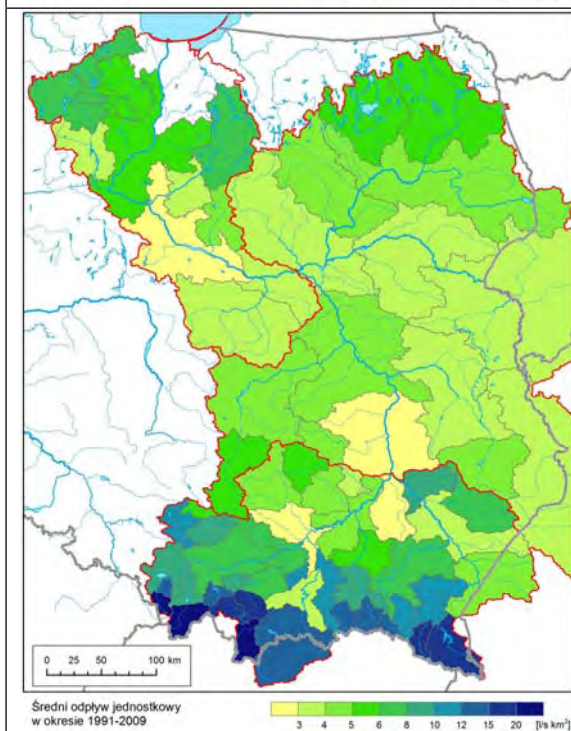
Porównanie wartości odpływu jednostkowego obu analizowanych okresów dało następujące wyniki. Średni roczny odpływ jednostkowy zmniejszył się w 25 analizowanych profilach wodowskazowych. Największe różnice zaobserwowano m.in. w profilu Oświęcim na Sole oraz Radomyśl na Sanie. Zwiększenie się odpływu rocznego nastąpiło w 42 profilach wodowskazowych, a największe zmiany dotyczyły zlewni Wisły w Toruniu oraz Jagodnikach. Na jednym z wodowskazów (Krasnystaw na Wieprzu) średni roczny odpływ jednostkowy nie uległ zmianie.

W odniesieniu do półrocza zimowego, zmniejszenie średniego odpływu jednostkowego zanotowano w 29 profilach wodowskazowych, najbardziej wyraźne w Oświęcimiu na Sole, zwiększenie zaś w 36 profilach, m.in. na Wiśle w Toruniu i Jagodnikach. W 3 analizowanych profilach średni odpływ półrocza zimowego nie uległ zmianie (Łabuzie na Wisłoce, Krasnystaw na Wieprzu i Smukała na Brdzie).

W półroczu letnim średni odpływ jednostkowy zmniejszył się w 17 profilach wodowskazowych, najbardziej wyraźnie w Oświęcimiu na Sole i Radomyślu na Sanie. Wzrost odpływu zaobserwowano w 49 profilach, największy – podobnie jak w przypadku półrocza zimowego – odnotowano na Wiśle w profilach Toruń oraz



Rys. 4. Średni odpływ jednostkowy w okresie 1971–1990



Rys. 5. Średni odpływ jednostkowy w okresie 1991–2009

Jagodniki. W dwóch analizowanych profilach odpływ jednostkowy półrocza letniego nie uległ zmianie (Tokarnia na Czarnej Nidzie i Czarna Woda na Wdzie).

Podsumowując, można stwierdzić, że w ponad 60% badanych zlewni różnicowych średni roczny odpływ jednostkowy w latach 1991–2009 był większy niż w okresie referencyjnym 1971–1990. Jeszcze wyraźniej tendencja ta jest widoczna w odniesieniu do półrocza letniego, gdzie wzrost odpływu zaobserwowano w 72% zlewni.

Obliczono również średni odpływ jednostkowy dla dorzecza Wisły górnej, zamkniętej profilem wodowskazowym Sandomierz. Dla wielolecia 1971–1990 wyniósł on 8,97 l/s/km<sup>2</sup>, a dla lat 1991–2009 nieco mniej, bo 8,94%. W profilu Kępa Polska odpływ jednostkowy ze zlewni górnej i środkowej Wisły wyniósł: w latach 1971–1990 – 5,68 l/s/km<sup>2</sup>, w latach 1991–2009 – 5,2 l/s/km<sup>2</sup>. W profilu Tczew, zamykającym całe dorzecze Wisły, które dla potrzeb zadania projektowego zostało ograniczone do powierzchni 193,9 tys. km<sup>2</sup>, średni odpływ roczny wyniósł: w latach 1971–1990 – 5,76 l/s/km<sup>2</sup>, a w latach 1991–2009 – 5,13 l/s/km<sup>2</sup>.

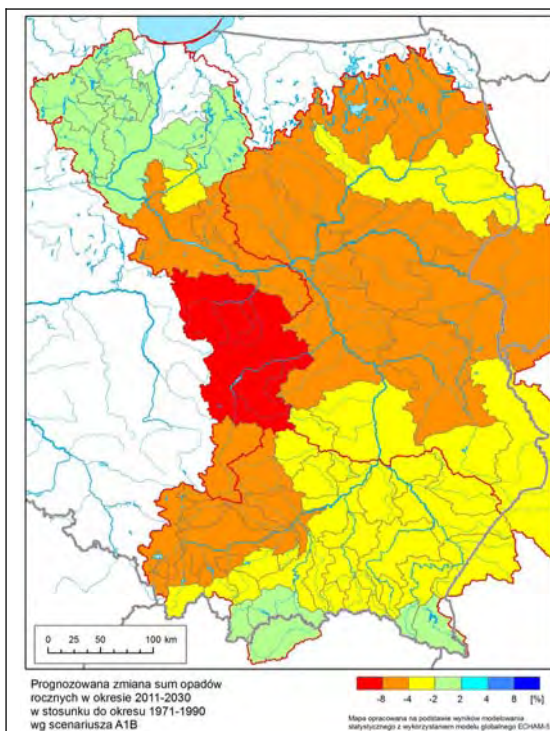
#### **4. Zmiany odpływu jednostkowego w horyzoncie czasowym 2011–2030**

Wykorzystując model statystyczny ECHAM-5 oraz dane opadowe z 54 stacji w Polsce, obliczono prawdopodobne zmiany odpływu jednostkowego w procentach. Wyniki przedstawiono w postaci średniej rocznej zmiany oraz średnich zmian w półroczach zimowym i letnim dla 3 scenariuszy klimatycznych A1B, A2 i B1.

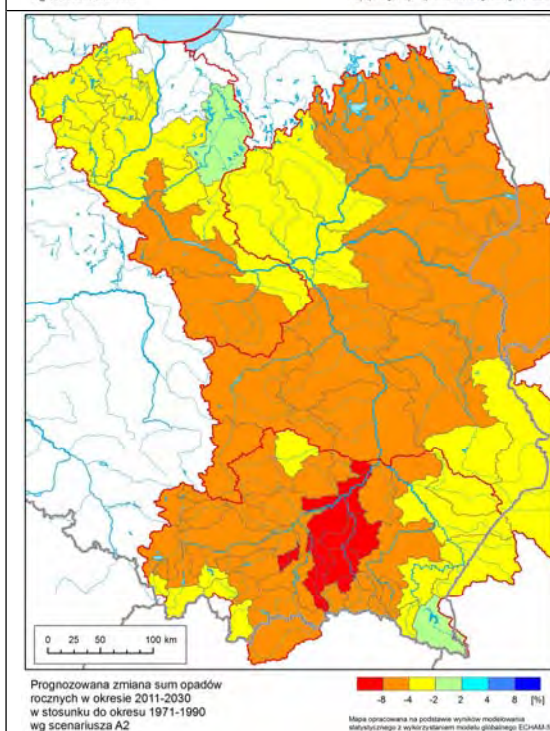
W scenariuszu A1B – dla 65 profili wodowskazowych model wykazał zmniejszenie się rocznego średniego odpływu jednostkowego w granicach od –8 do –1% w stosunku do okresu referencyjnego 1971–1990. Dla 3 profili model nie wskazuje żadnych zmian. Analiza zmian w półroczach wykazała znaczne rozbieżności w trendach. W sezonie zimowym na większości profili (38) spodziewany jest wzrost odpływu, natomiast w sezonie letnim – jego spadek (w 61 profilach wodowskazowych). W odniesieniu do półrocza letniego spodziewane są również istotniejsze zmiany w wartości odpływu (spadek maks. do –14%) niż w półroczu zimowym (spadek maks. do –3%). Szacowany wzrost odpływu może wynieść maksymalnie 6% w półroczu zimowym i 4% w półroczu letnim.

W scenariuszu A2 – model wskazuje na podobne trendy w zmianach średniego rocznego odpływu jednostkowego jak w przypadku A1B. W 67 profilach wodowskazowych spodziewane jest zmniejszenie się odpływu w granicach od –9 do –1% w stosunku do okresu referencyjnego 1971–1990, w jednym profilu wzrost o 3%. Analizy półroczne wykazały duże rozbieżności w trendach, analogiczne do tych w scenariuszu A1B. W sezonie zimowym na większości profili (41) spodziewany jest wzrost odpływu, a w sezonie letnim – spadek (w 66 profilach wodowskazowych). Podobnie jak w poprzednim scenariuszu, również w A2 istotniejsze zmiany dotyczą półrocza letniego (spadek maks. do –12%) niż zimowego (spadek maks. do –6%). Szacowany wzrost odpływu może wynieść maksymalnie 4% w półroczu zimowym i 6% w półroczu letnim.

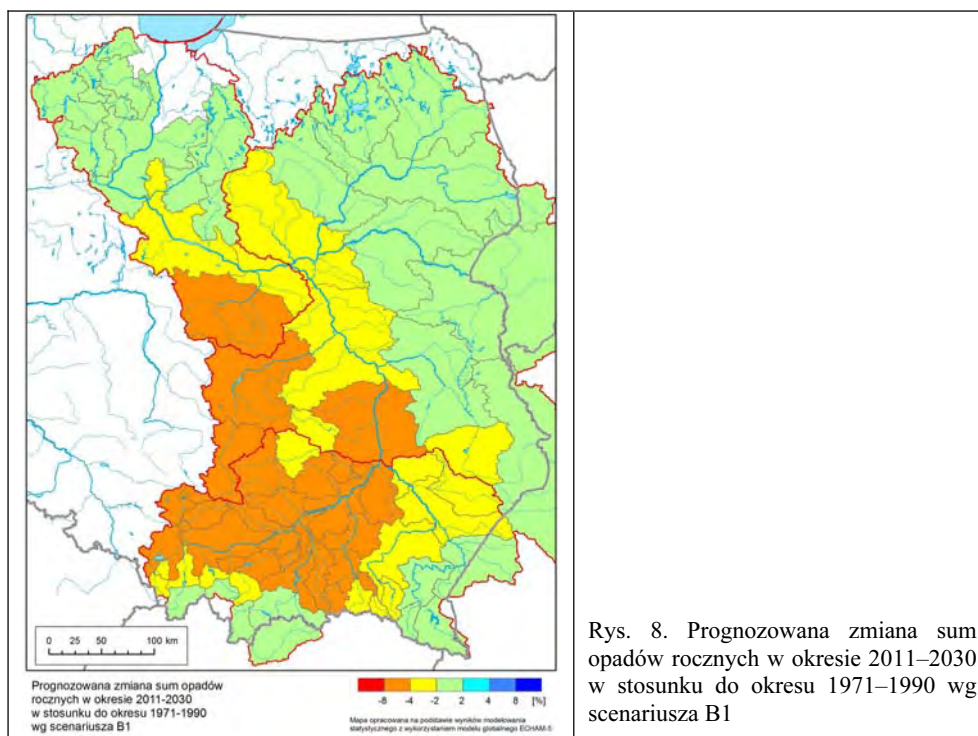




Rys. 6. Prognozowana zmiana sum opadów rocznych w okresie 2011–2030 w stosunku do okresu 1971–1990 wg scenariusza A1B



Rys. 7. Prognozowana zmiana sum opadów rocznych w okresie 2011–2030 w stosunku do okresu 1971–1990 wg scenariusza A2



Rys. 8. Prognozowana zmiana sum opadów rocznych w okresie 2011–2030 w stosunku do okresu 1971–1990 wg scenariusza B1

W scenariuszu B1 – model ponownie wskazał na zmniejszanie się średniego rocznego odpływu jednostkowego, ale tylko w odniesieniu do 50 profili wodowskazowych. Szacowane zmiany mogą wynieść od  $-1$  do  $-7\%$  w stosunku do okresu referencyjnego 1971–1990. W 11 profilach oczekiwane jest zwiększenie się średniego odpływu rocznego, maksymalnie do  $3\%$ , a w pozostałych 7 model nie wskazał żadnych zmian. Mniejsze są również rozbieżności trendów w półroczach. W sezonie zimowym spodziewane jest zmniejszenie się odpływu w 20 profilach, zwiększenie w 25, natomiast w sezonie letnim – zmniejszenie w 55 profilach, a zwiększenie w 11. Podobnie jak w pozostałych scenariuszach, również w B1 istotniejsze zmiany dotyczą półrocza letniego (spadek maks. do  $-10\%$ ) niż zimowego (spadek maks. do  $-3\%$ ). Szacowany wzrost odpływu może wynieść maksymalnie  $4\%$  w półroczu zimowym i  $3\%$  w półroczu letnim.

## 5. Podsumowanie

Podsumowując, model statystyczny ECHAM-5 we wszystkich 3 scenariuszach klimatycznych wskazuje na zmniejszenie się średniego rocznego odpływu jednostkowego w wieloleciu 2011–2030 w porównaniu z okresem referencyjnym 1971–1990. Wyniki potwierdzają ogólne trendy zaobserwowane w latach 1971–2009 dla całego dorzecza Wisły. Wyraźnie natomiast zaznaczają się rozbieżności w trendach zmian w poszczególnych sezonach oraz różnice wielkości przewidywanych zmian w poszczególnych zlewniach różnicowych.

# **Ramowy system ocen oddziaływania na środowisko**

*Tomasz Walczykiewicz, Ilona Biedroń, Jadwiga Łaciak*

## **1. Wprowadzenie**

Dyrektywa w sprawie strategicznej oceny oddziaływania na środowisko (dyrektywa 2001/42/WE) jest dokumentem kształtującym proces planowania w różnych dziedzinach rozwoju społeczno-gospodarczego, w tym planowania w gospodarce wodnej. Zasadniczo pojęcie strategicznej oceny oddziaływania na środowisko jest czytelne, jednak praktyczna implementacja dyrektywy związanej z ocenami oddziaływania na środowisko może stanowić istotne wyzwanie dla autorów prognoz i w konsekwencji dla państw członkowskich.

W Polsce 20 lipca 2010 r. weszły w życie przepisy ustawy z dnia 21 maja 2010 r. o zmianie ustawy o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska, o ocenach oddziaływania na środowisko, a także niektórych innych ustaw. W dziale IV zawarto przepisy regulujące zasady przeprowadzania strategicznej oceny oddziaływania na środowisko, czyli oceny dotyczącej projektów dokumentów, planów i programów, a nie konkretnych przedsięwzięć.

## **2. Podstawa prawna**

Obowiązująca ustawa regulująca zasady prowadzenia ocen oddziaływania na środowisko, definiowanych jako badanie wpływu na środowisko będącego wynikiem realizacji zaplanowanych działań, ma swoje źródła w przepisach prawnych Unii Europejskiej, ujętych w następujących dyrektywach:

- Rady 85/337/EWG z dnia 27 czerwca 1985 r. w sprawie oceny skutków wywieranych przez niektóre przedsięwzięcia publiczne i prywatne na środowisko naturalne (OOŚ) [Dyrektywa... 1985],
- Parlamentu Europejskiego i Rady 2001/42/WE z dnia 27 czerwca 2001 r. w sprawie oceny wpływu niektórych planów i programów na środowisko (SOOŚ) [Dyrektywa... 2001],

- Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory [Dyrektywa... 1992].

Istotnym elementem, który warto w tym miejscu podkreślić, jest to, że druga z dyrektyw odnosi się do projektów wyznaczających ramy dla przedsięwzięć, które są poddawane ocenie zgodnie z wymaganiami pierwszej dyrektywy.

Projekty dotyczące gospodarki wodnej, takie jak duże zbiorniki retencyjne lub kanały ulgi, mogą oddziaływać na środowisko i w konsekwencji wymagają oceny zgodnie z *dyrektywą 85/337/EWG*. Ocena ta ma miejsce na etapie, w którym możliwości wprowadzenia znacznych zmian w samych projektach tych przedsięwzięć są często ograniczone. Tak więc decyzje w sprawie miejsca realizacji projektu lub wyboru rozwiązań alternatywnych powinny już być podjęte na poziomie planu lub programu [Wytyczne... 2001].

W dokumentach unijnych (m.in. w *Good practice in managing the ecological impacts of hydropower schemes; flood protection works; and works designed to facilitate navigation under the Water Framework Directive*) zamieszczono rekomendacje techniczne dotyczące zmian hydromorfologicznych wywołanych przez hydroenergetykę, żeglugę i ochronę przed powodzią. Celem rekomendacji jest zaprezentowanie – kompetentnym władzom, interesariuszom i użytkownikom zasobów wodnych – zestawu podstawowych działań służących łagodzeniu wpływu i odbudowie lub renowacji po zmianach powstałych w wyniku presji hydromorfologicznych.

Ocena raportów z wdrożenia analizy presji i oddziaływań zakończonej w roku 2004, zgodnie z wymaganiami RDW w krajach członkowskich UE, wskazuje, że znacząca liczba jednolitych części wód w Europie jest zagrożona nieosiągnięciem dobrego stanu. Zmiany hydromorfologiczne są jedną z istotnych przyczyn takiego niebezpieczeństwa. Ponadto, wyznaczono proporcjonalnie dużą liczbę silnie zmienionych części wód. Niektóre zmiany prowadzą do kolejnych np. zmiana rzeki w zbiornik w wyniku spiętrzenia zaporą. Istotne użytkowanie wód powierzchniowych, w tym żegluga, ochrona przed powodzią, użytkowanie związane z retencją zbiornikową (zaopatrzenie w wodę, produkcja energii elektrycznej, nawodnienia) oraz rekreacja jest wyszczególnione w art. 4.3 RDW. Urbanizacja nie została wyspecyfikowana w RDW, jednak może towarzyszyć zmianom hydromorfologicznym w związku z ochroną przed powodzią, melioracjami, kontrolą erozji i osuwisk. Urbanizację należy traktować jako czynnik odpowiadający zapisom art. 4.3 RDW. Ważne zmiany hydromorfologiczne, takie jak zapory czy jazy, pogłębienia i kanalizacja rzek, są niezbędne dla pewnych typów użytkowania. Są z reguły wykorzystywane nie w jednym, lecz w wielu rodzajach użytkowania.

W konsekwencji, na poziomie programu perspektywicznego opracowywanego dla obszaru dorzecza Wisły, już na tym etapie powinny być planowane alternatywne rozwiązania. Plany i programy mają w rozumieniu *dyrektywy 2001/42/WE* ogólną definicję i są traktowane jednakowo. Planem może być na przykład sposób realizacji określonej polityki (np. w ochronie przed powodzią) lub zagospodarowania przestrzennego. Natomiast program to często zbiór projektów dotyczących

konkretnego obszaru. Wytyczne Komisji Europejskiej dotyczące wdrożenia dyrektywy zalecają rozpatrywanie każdego przypadku planu i programu niezależnie. Oczywiście ich definicja uwzględnia również modyfikacje i aktualizacje. Plany i programy obejmują również te współfinansowane przez Wspólnotę Europejską. Istotnym czynnikiem wpływającym na zaklasyfikowanie ich jako podlegających dyrektywie jest to, że muszą być wymagane przez przepisy ustawowe, wykonawcze lub administracyjne. W dokumentach metodycznych towarzyszących Ramowej Dyrektywie Wodnej 2000/60/WE (RDW) podkreśla się, że dokumenty planistyczne i programowe dla sektora lub obszaru geograficznego określają miejsca konkretnych projektów oraz warunki ich realizacji. Niezbędna jest tu w szczególności kontynuacja działań na rzecz koordynacji i integracji planów sektorowych w celu redukcji konfliktów, zapewnienia synergii i osiągnięcia terytorialnej spójności [Walczukiewicz i in. 2009].

Ogólnie celem RDW jest przeciwdziałanie pogarszaniu się stanu wszystkich części wód i osiągnięcie ich dobrej jakości do końca roku 2015 [Walczukiewicz 2005]. Dla wód powierzchniowych *dobry stan* jest wyznaczony przez *dobry stan ekologiczny* i *dobry stan chemiczny*. Stan ekologiczny wyznaczają biologiczne elementy jakości, wspomagane przez hydromorfologiczne i fizykochemiczne elementy jakości. Punkt odniesienia stanowią warunki *niezakłócone*, niewykazujące żadnych oddziaływań człowieka, lub tylko *bardzo niewielkie*. RDW charakteryzuje się elastycznością w ustalaniu celów, które powinny uwzględniać aspekty środowiskowe, społeczne i ekonomiczne. Zapewnienie integracji między różnymi politykami jest możliwe dzięki *internalizacji* kosztów środowiskowych i korzyści. Wymaga ona włączenia w rachunek ekonomiczny kosztów wynikających ze skutków wywoływanych przez prowadzących działalność gospodarczą. RDW podkreśla wpływ zmian w hydromorfologii wód na ich stan ekologiczny, natomiast hydroenergetyka, infrastruktura żegluga i techniczne obiekty ochrony przeciwpowodziowej często powodują duże zmiany warunków hydromorfologicznych. Negatywne oddziaływanie na środowisko wodne jest jednak kompensowane istotnymi korzyściami dla ogółu środowiska lub zwiększeniem poziomu bezpieczeństwa ludności. Wiele negatywnych konsekwencji dla środowiska wodnego, wywołanych przez hydroenergetykę, żeglugę czy ochronę przed powodzią wynika z sektorowego podejścia, które nie uwzględnia możliwości wykorzystywania jednolitych części wód do wielu celów z uwzględnieniem ochrony środowiska [Walczukiewicz 2007]. Każda z polityk ma swoje reguły planowania, a stosowanie dyrektywy 2001/42/WE może aktywnie wspomóc procesy koordynacji i integracji między różnymi politykami. Natomiast w trakcie procesu projektowania należy uwzględniać takie rozwiązania techniczne, które nie powodują zmian stanu hydromorfologicznego. Dyrektywa 85/337/EWG zapewnia, że konsekwencje środowiskowe projektów są identyfikowane i oceniane przed wydaniem stosownych pozwoleń. Dla osiągnięcia sukcesu w postaci realizacji planu najważniejsze jest wzmocnienie interdyscyplinarnego dialogu między kompetentnymi władzami odpowiedzialnymi za polityki sektorowe, a także między ekspertami i interesariuszami – w celu za-

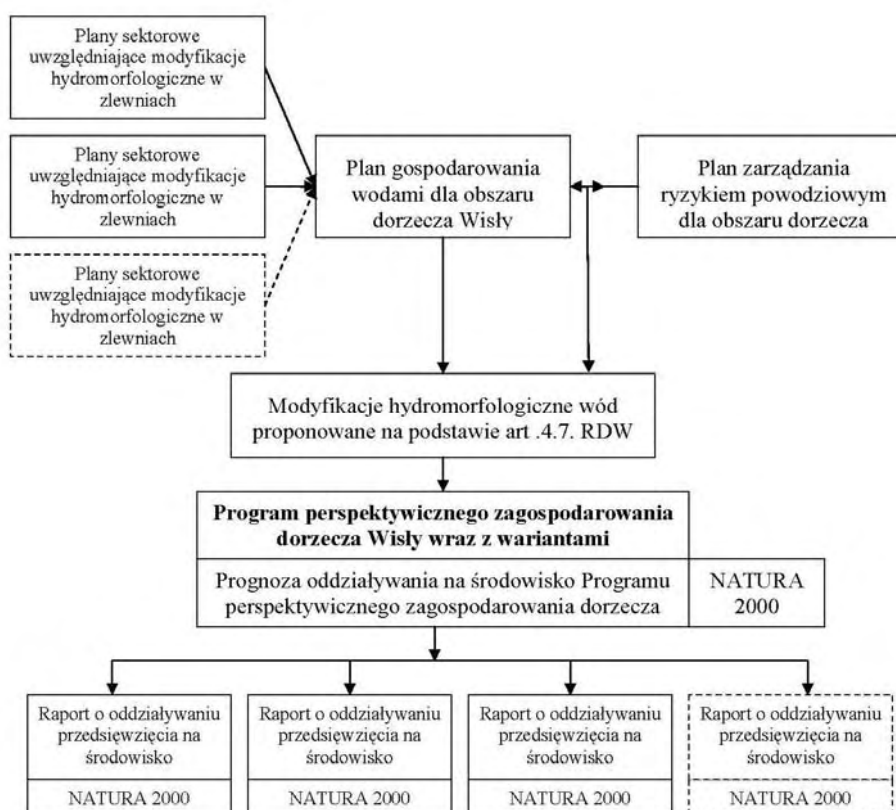
pewnienia odpowiedniej równowagi między różnymi sposobami użytkowania wody i ochroną zasobów wodnych.

Wobec powyższego należy stwierdzić, że istnieje miejsce dla strategii kompromisowych, uwzględniających szeroki, zintegrowany cel. Będzie to jednak wymagać wysiłku i akceptacji ze strony:

- zarządzających gospodarką wodną,
- korzystających z infrastruktury wodnej, działających w kierunku unikania i kompensacji strat wynikających z prowadzonej działalności.

### 3. Prognoza oddziaływania na środowisko dla programu perspektywnego zagospodarowania dorzecza Wisły

Ewentualne powstanie programu perspektywnego zagospodarowania dorzecza Wisły będzie wymagać wykonania prognozy oddziaływania na środowisko. Na rys. 1 przedstawiono system planowania w gospodarce wodnej i umiejscowienie w nim niniejszej prognozy.



Rys. 1 Miejsce prognozy oddziaływania na środowisko dla programu perspektywnego zagospodarowania Wisły w procesie planowania w gospodarowaniu wodami

Prognoza powinna:

1. zawierać informacje o zawartości, głównych celach projektowanego dokumentu oraz jego powiązaniach z innymi dokumentami;
2. zawierać informacje o metodach zastosowanych przy sporządzaniu prognozy;
3. zawierać propozycje dotyczące przewidywanych metod analizy skutków realizacji postanowień projektowanego dokumentu oraz częstotliwości jej przeprowadzania;
4. zawierać informacje o możliwym transgranicznym oddziaływaniu na środowisko, w tym oceniać zakres przedsięwzięć wymagających współpracy ze stroną słowacką i ukraińską przy opracowaniu założeń i projektów wspólnych przedsięwzięć oraz zasad ich realizacji;
5. zawierać ogólne informacje o stopniu oraz zakresie przekształceń cieków i ich dolin w dorzeczu Wisły, z uwzględnieniem stref ochronnych ujęć wód;
6. zawierać streszczenie sporządzone w języku niespecjalistycznym;
7. określać, analizować i oceniać istniejący stan środowiska oraz potencjalne zmiany tego stanu w przypadku braku realizacji projektowanego dokumentu;
8. określać, analizować i oceniać stan środowiska na obszarach objętych przewidywanym znaczącym oddziaływaniem,
9. określać, analizować i oceniać istniejące problemy ochrony środowiska istotne pod względem realizacji projektowanego dokumentu, w szczególności dotyczące obszarów podlegających ochronie na podstawie *ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody*, ze szczególnym uwzględnieniem oddziaływania na obszary Europejskiej Sieci Ekologicznej Natura 2000
10. określać, analizować i oceniać cele ochrony środowiska ustanowione na szczeblu międzynarodowym, wspólnotowym i krajowym, istotne pod względem projektowanego dokumentu, oraz sposoby, w jakich te cele i inne problemy środowiska zostały uwzględnione podczas opracowywania dokumentu ze szczególnym uwzględnieniem Ramowej Dyrektywy Wodnej, dyrektywy siedliskowej i dyrektywy ptasiej oraz planów lub projektów gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy;
11. określać, analizować i oceniać przewidywane znaczące oddziaływania, w tym oddziaływania bezpośrednie, pośrednie, wtórne, skumulowane, krótko-, średnio- i długoterminowe, stałe i chwilowe oraz pozytywne i negatywne, na cele i przedmiot ochrony obszaru Natura 2000, integralność tego obszaru, a także na środowisko, w szczególności na:
  - różnorodność biologiczną,
  - zwierzęta, zwłaszcza gatunki chronione,
  - rośliny, w szczególności stanowiska gatunków chronionych,
  - wody powierzchniowe i podziemne (obszary GZWP),
  - powietrze,

- powierzchnię ziemi, w tym zmiany w możliwych przekształceniach gleb,
- krajobraz,
- klimat,
- zasoby naturalne,
- zabytki i dobra kultury,
- dobra materialne

z uwzględnieniem zależności między tymi elementami środowiska i między oddziaływaniami na te elementy;

12. przedstawiać rozwiązania mające na celu zapobieganie, ograniczanie lub kompensację przyrodniczą negatywnych oddziaływań na środowisko, mogących być rezultatem realizacji projektowanego dokumentu, w szczególności na cele i przedmiot ochrony obszaru Natura 2000 oraz jego integralność;
13. przedstawiać – biorąc pod uwagę cele i geograficzny zasięg dokumentu, a także cele i przedmiot ochrony obszaru Natura 2000 oraz jego integralność – rozwiązania alternatywne do rozwiązań zawartych w projektowanym dokumencie wraz z uzasadnieniem ich wyboru oraz opis metod oceny prowadzącej do tego wyboru albo uzasadnienie braku rozwiązań alternatywnych, w tym wskazania napotkanych trudności wynikających z niedostatków techniki bądź luk we współczesnej wiedzy;
14. uwzględniać informacje zawarte w prognozach oddziaływania na środowisko sporządzonych dla przyjętych dokumentów, powiązanych z projektowanym dokumentem, o ile takie opracowania zostały wykonane.

Ponadto, stopień szczegółowości prognozy oddziaływania na środowisko dla programu powinien gwarantować osiągnięcie założonych celów zgodnie z zasadami określonymi w:

- dyrektywie 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiającej ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej,
- dyrektywie 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim.

Prognoza oddziaływania na środowisko jest przeprowadzana w celu określenia skutków decyzji strategicznych dla środowiska, zapadających na szczeblu polityki, planowania i programowania. Jest stosowana jako narzędzie prewencji podczas procesu decyzyjnego i w fazie przechodzenia do realizacji celów zrównoważonego rozwoju.

Dwupoziomowy system uwzględniający oceny dla planów i programów ustalających ramy przedsięwzięć z jednej strony oraz oceny konkretnych przedsięwzięć z drugiej rodzi pytanie o stopień dokładności analiz prowadzonych na poziomie planu. Na tym etapie często brak jest szczegółowych informacji, charakteryzujących konkretne przedsięwzięcia. Pojawiają się często dopiero po opracowaniu do-



kumentacji technicznych i są dostępne na etapie oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko.

Analizę konsekwencji realizacji zadań programu należy przeprowadzić dla następujących problemów środowiskowych:

- eutrofizacja,
- zatrucie gleb i wód toksycznymi chemikaliami,
- bioróżnorodność,
- krajobraz (ochrona krajobrazu),
- zasoby wodne,
- zasoby leśne,
- zasoby naturalne,
- degradacja gleb,
- stan powietrza atmosferycznego,
- ochrona klimatu,
- ochrona zabytków i dóbr materialnych,
- bezpieczeństwo i zdrowie ludzi,

Proponuje się przyjęcie trzech podstawowych grup wskaźników ekorozwoju:

- wskaźniki presji środowiskowej,
- wskaźniki stanu środowiska,
- wskaźniki reakcji (działań zapobiegawczych lub ograniczających negatywne oddziaływanie na środowisko).

Zakłada się, że wskaźniki presji odnoszą się do tych form działalności, które zmniejszają ilość i jakość zasobów środowiska (w tym dóbr kultury i dóbr materialnych). Wskaźniki stanu przede wszystkim charakteryzują stan obecny lub ten, który zaistnieje w wyniku realizacji zadań programu, z kolei wskaźniki reakcji pokazują działania, które powinny prowadzić do ograniczenia, opanowania lub uniknięcia negatywnego oddziaływania na środowisko, ewentualnie powstrzymać postępującą już degradację. Wybór wskaźników jest uwarunkowany dostępnością danych statystycznych i publicznie dostępnych danych z systemów monitoringu środowiska.

Dyrektywa 2001/42/WE wymaga opracowania rozsądnych rozwiązań alternatywnych, uwzględniających cele i geograficzny zasięg planu lub programu. Zwraca przy tym uwagę, że sprawozdanie dotyczące środowiska (część dokumentacji planu lub programu zawierająca informacje wymagane w art. 5 i w załączniku I dyrektywy OOS) powinno być opracowane w oparciu na racjonalnych wymaganiach, z uwzględnieniem obecnego stanu wiedzy i metody oceny, **zawartości i poziomu szczegółowości planu lub programu**, jego stadium w procesie podejmowania decyzji oraz zakresu, w jakim niektóre sprawy mogą zostać właściwie ocenione na różnych etapach tego procesu – w celu uniknięcia powielania oceny.

Poniżej zamieszczono ramową propozycję prognozy dla programu perspektywicznego zagospodarowania dorzecza Wisły.

- Streszczenie prognozy
- Wstęp – podstawa formalna opracowania prognozy oddziaływania na środowisko
- Zakres prognozy oddziaływania na środowisko
- Charakterystyka planu dla dorzecza Wisły
- Powiązania formalne i merytoryczne analizowanego dokumentu z innymi dokumentami szczebla europejskiego, krajowego i regionalnego
  - ✓ *Dokumenty Unii Europejskiej oraz porozumienia międzynarodowe*
  - ✓ *Dokumenty prawa krajowego*
  - ✓ *Dokumenty strategiczne rozwoju kraju*
  - ✓ *Regionalne dokumenty strategiczne*
    - Strategie rozwoju województw
    - Regionalne programy operacyjne
    - Plany zagospodarowania przestrzennego województw
    - Programy ochrony środowiska
    - Programy małej retencji
    - Pozostałe dokumenty
- Metody zastosowane przy opracowaniu prognozy
- Wykorzystane materiały
- Trudności w opracowaniu prognozy
- Ocena możliwości oddziaływań transgranicznych w wyniku realizacji postanowień projektowanego dokumentu
- Charakterystyka stanu środowiska w obszarze dorzecza Wisły
  - ✓ *Powietrze i klimat*
    - Charakterystyka powietrza
    - Ocena jakości powietrza
    - Charakterystyka klimatu
  - ✓ *Powierzchnia ziemi*
    - Rzeźba terenu
    - Osuwiska
    - Gleby i czynniki ich degradacji
  - ✓ *Wody powierzchniowe i podziemne*
    - Wody powierzchniowe
      - Charakterystyka fizjograficzna i hydrologiczna rejonów zlewniowych Wisły*
      - Ocena hydromorfologiczna stanu rzek i potoków w dorzeczu Wisły*
    - Wody podziemne
      - Ocena stanu jakości wód podziemnych*
  - ✓ *Ludzie*
  - ✓ *Zabytki*
  - ✓ *Dobra materialne*
  - ✓ *Krajobraz*
  - ✓ *Transport wodny*

- ✓ *Energetyka wodna*
- ✓ *Turystyka*
- Problemy ochrony środowiska istotne z punktu widzenia przyszłej realizacji postanowień projektowanego dokumentu
  - ✓ *Obszary rzeczywistych zagrożeń powodziąmi jako kryterium istotności i skali problemów ochronnych*
  - ✓ *Istniejące problemy ochrony środowiska oraz uwarunkowania dla realizacji postanowień programu*
- Ocena uwzględnienia przez program celów oraz sposobów ochrony środowiska ustanowionych na szczeblu europejskim, krajowym i wojewódzkim
  - ✓ *Ocena w kontekście regulacji prawnych Unii Europejskiej*
  - ✓ *Ocena w kontekście regulacji prawa krajowego*
  - ✓ *Ocena w kontekście dokumentów strategicznych rozwoju kraju*
  - ✓ *Ocena w kontekście dokumentów strategicznych województw*
    - Strategie rozwoju województw
    - Regionalne Programy Operacyjne
    - Plany zagospodarowania przestrzennego województw
    - Programy ochrony środowiska
    - Programy małej retencji
  - ✓ *Podsumowanie oceny uwzględnienia przez program celów oraz sposobów ochrony środowiska ustanowionych na szczeblu europejskim, krajowym i wojewódzkim*
- Przewidywane znaczące oddziaływania na wszystkie komponenty środowiska oraz Naturę 2000 w wyniku realizacji programu
  - ✓ *Wstępna analiza pozytywnych i negatywnych konsekwencji w odniesieniu do poszczególnych komponentów środowiska*
  - ✓ *Synteza analizy oddziaływań*
- Wskaźnikowa analiza konsekwencji realizacji programu
  - ✓ *Wskaźniki charakteryzujące problematykę ochrony przeciwpowodziowej w dorzeczu*  
Wskaźniki presji, stanu i reakcji dotyczące:
    - zagrożenia eutrofizacją
    - zatrucia gleb i wód toksycznymi chemikaliami
    - bioróżnorodności
    - ochrony krajobrazu kulturowego
    - zasobów wodnych
    - zasobów leśnych
    - zasobów naturalnych
    - degradacji gleb
    - stanu powietrza atmosferycznego
    - ochrony klimatu
    - dóbr materialnych i zabytków
    - wpływu na bezpieczeństwo i zdrowie ludzi
  - ✓ *Problematyka zagospodarowania przestrzennego i prewencyjnej ochrony przeciwpowodziowej*

- ✓ *Problematyka środowiska naturalnego i wartości przyrodniczych*
- ✓ *Problematyka rozwoju gospodarczego*
- ✓ *Problematyka współpracy transgranicznej*
- Ocena poprawności wyboru priorytetowych projektów
- Konsekwencje dla środowiska wystąpienia poważnej awarii przemysłowej
  - ✓ *Poważna awaria przemysłowa w regulacjach prawnych*
  - ✓ *System ostrzegawczo-alarmowy w przypadku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej*
  - ✓ *Zakłady o zwiększonym i dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii*
- Ocena potencjalnych zmian w środowisku w przypadku nierealizowania postanowień programu
  - ✓ *Ocena potencjalnych konsekwencji dla wszystkich komponentów środowiska w wyniku nierealizowania programu*
  - ✓ *Syntetyczna ocena negatywnych konsekwencji dla wszystkich komponentów środowiska w wyniku nierealizowania programu*
- Rozwiązania zapobiegające, ograniczające lub kompensujące negatywne oddziaływania na środowisko
  - ✓ *Przegląd podstawowych działań naprawczych ograniczających i kompensujących negatywne oddziaływania na środowisko w przypadku realizacji programu*
- Propozycje rozwiązań alternatywnych do zawartych w analizowanym dokumencie
  - ✓ *Przepisy europejskie jako podstawa zidentyfikowania potencjalnych działań alternatywnych dla elementów programu*
  - ✓ *Zakres proponowanych działań alternatywnych dla programu*
- Propozycje dotyczące przewidywanych metod analizy skutków realizacji programu
- Podsumowanie i wnioski końcowe
  - ✓ *Największe znaczące, niekorzystne konsekwencje dla środowiska*
  - ✓ *Rekomendacje i propozycje dalszych działań na rzecz ochrony środowiska*

#### 4. Podsumowanie

Ocena oddziaływania na środowisko jest przeprowadzana w celu określenia skutków konkretnych działań dla środowiska, w tym planów i programów. Prognoza jest narzędziem stosowanym w procesie decyzyjnym i realizuje przy tym cele zrównoważonego rozwoju.

Głównym dokumentem odnoszącym się do strategicznej oceny oddziaływania na środowisko jest dyrektywa 2001/42/WE w sprawie oceny wpływu niektórych planów i programów na środowisko. W Polsce te kwestie są zapisane w ustawie z dnia 21 maja 2010 r. głównie w dziale IV, gdzie zawarto przepisy regulujące zasady przeprowadzania strategicznej oceny oddziaływania na środowisko, czyli oceny dotyczącej projektów dokumentów, planów i programów.

W rozdziale przedstawiono system planowania w gospodarce wodnej i umiejscowienie w nim prognozy oddziaływania na środowisko ewentualnego programu perspektywicznego zagospodarowania dorzecza Wisły. Opisano, co powinna zawierać prognoza oraz przedstawiono ramową propozycję zawartości prognozy dla programu perspektywicznego zagospodarowania dorzecza Wisły.

## Podsumowanie

*Wojciech Majewski*

Celem cz. IV było przedstawienie stanu obecnego zagospodarowania dorzecza Wisły, informacji dotyczących prognozowanych zmian klimatu według trzech scenariuszy i wpływu tych zmian na zasoby wodne w postaci odpływu jednostkowego oraz zaproponowanie nowych inwestycji hydrotechnicznych związanych z zaopatrzeniem w wodę, jak również zabezpieczeniem przeciwpowodziowym i złagodzeniem skutków suszy. Część IV w postaci 9 rozdziałów objęła prace, które zostały wykonane w ramach zadania 9 projektu KLIMAT.

Całość prac dotyczyła dorzecza Wisły znajdującego się w granicach Polski, z podziałem na trzy części, tj. Wisłę górną, środkową i dolną. Taki podział był podyktowany istotnymi różnicami w specyfice tych obszarów.

Aby mówić o wpływie klimatu na zmiany w zasobach wodnych w perspektywie lat 2010–2030 konieczne było w pierwszej kolejności dokonanie pełnego rozpoznania obecnego stanu dorzecza i jego możliwych zmian w przyszłości. (Warto podkreślić, że nie ma aktualnego planu przestrzennego zagospodarowania kraju. Istnieje *Strategia gospodarki wodnej* z 2005 r., która jest nieaktualna, ponieważ nie zawiera strategicznej oceny oddziaływania na środowisko. Istnieje projekt *Polityki wodnej państwa*, dotychczas jednak niezatwierdzony. Dlatego też trudno jest powiązać wyniki uzyskane w zadaniu 9 z dokumentami strategicznymi państwa.) To rozpoznanie dotyczyło następujących elementów:

- Pokrycie terenu dorzecza i prognozowane zmiany, głównie stanu lesistości. Stwierdza się, że do 2030 r. nie należy spodziewać się zmian gatunkowych lasów. W zagospodarowaniu dorzecza Wisły można zaobserwować podobną strukturę pokrycia terenu jak w całej Polsce. Dominują grunty orne i lasy. Znaczne obszary zajęte są również przez łąki. Ze względu na uwarunkowania środowiskowe najbardziej rolniczym charakterem odznacza się dorzecze dolnej Wisły, natomiast największą lesistością – dorzecze górnej Wisły. Przyszłe zmiany pokrycia terenu będą prawdopodobnie następować w innym tempie i w innych kierunkach niż dotychczas. Wynika to m.in. ze zmieniających się uwarunkowań społeczno-gospodarczych.
- Melioracje podstawowe. Planuje się renowację i modernizację istniejących systemów melioracyjnych. Nie przewiduje się nowych systemów melioracji.

- Wody podziemne. Stanowią ważne źródło zaopatrzenia w wodę w przyszłości. Obecnie jednak ujęcia wód podziemnych są przeznaczone jedynie dla działów gospodarki wymagających bardzo dobrej jakości wody.
  - Infrastruktura hydrotechniczna, obejmująca głównie zapory, jazy i zbiorniki wodne. Stwierdzono, że istniejąca infrastruktura jest przestarzała i brakuje wystarczających funduszy na jej modernizację oraz renowację. W wielu dokumentach państwowych mówi się o konieczności zwiększenia pojemności zbiorników retencyjnych do 10, a nawet 15% średniego rocznego odpływu z terytorium kraju, jednak brakuje choćby wstępnych propozycji lokalizacyjnych dla tak założonych pojemności retencyjnych. W istniejących dokumentach państwowych nie ma też jednoznacznych stwierdzeń na temat wykorzystania rzek w żegludzie towarowej czy nawet rekreacyjnej. Problem hydroenergetyki stał się tematem tabu, mimo że elektrownie wodne w Polsce zajmują nadal dominującą pozycję wśród źródeł odnawialnej energii elektrycznej. Wszelkie nowe projekty obiektów hydrotechnicznych i hydroenergetycznych, jak również prace renowacyjne i modernizacyjne, wymagają rozbudowanych procedur ocen oddziaływania na środowisko, co znacznie komplikuje i przedłuża realizację tych projektów.
  - Określenie potrzebnych procedur wykonania OOS w przypadku budowy nowych obiektów, rozbudowy lub modernizacji już istniejących. Przedstawiono schemat postępowania w przypadku takich inwestycji.
  - Zagrożenie powodzią i suszą ze szczególnym uwzględnieniem istniejącej ochrony przeciwpowodziowej w postaci wałów i retencji powodziowej. Liczba budowli zabezpieczających jest niestety zbyt mała, a ich stan techniczny nie zawsze spełnia wymagane kryteria.
  - Istniejące pobory wody do celów komunalnych, przemysłowych i rolniczych oraz możliwości ich zwiększenia. Inwentaryzacja ujęć wody wskazuje, że przewidziane w dochodzeniach wodnoprawnych możliwości ujęcia wody są wykorzystywane tylko częściowo i w najbliższej perspektywie w normalnych warunkach nie grozi nam deficyt wody. Krytyczna sytuacja może wystąpić w przypadku pojawienia się długotrwałej suszy hydrologicznej.  
Punktem wyjścia do określenia wpływu zmian klimatu na zasoby wodne były scenariusze rozwoju gospodarczego i zmiany odpływu jednostkowego. Istotnym elementem takiej oceny była charakterystyka hydrologiczna dorzecza Wisły. W wyniku przeprowadzonych prac i analiz można wyciągnąć następujące wnioski.
1. Wyniki obliczeń odpływów jednostkowych nie wskazują na istotne zmiany prognozowanych zasobów wód powierzchniowych w latach 2011–2030 w stosunku do okresu referencyjnego (1971–1990). Średnie zmiany wysokości opadów dla wartości średnich rocznych w scenariuszach A2 i A1B nie przekraczają 10%, a dla scenariusza B1 – 15%.
  2. Ewentualne zmiany zasobów wodnych będą dotyczyły rozkładu czasowego opadów przy niewielkich zmianach wartości średnich rocznych. Wystąpią

szczególnie w części dorzecza obejmującego górną Wisłę, gdzie zasoby wód powierzchniowych charakteryzują się znaczną zmiennością w czasie i nierównomiernym rozmieszczeniem. W związku z tym zmiany klimatu w tej części dorzecza teoretycznie mogą powodować w przyszłości lokalne problemy.

3. Część dorzecza obejmująca górną Wisłę charakteryzuje się największymi sumami opadów i w związku z tym są tam również największe zasoby wód powierzchniowych. Odpływ powierzchniowy z tego terenu wynosi średnio ok. 13,5 km<sup>3</sup> rocznie (22% całego odpływu z terenu kraju). W związku z przeważającym powierzchniowym zasilaniem cieków, odznaczają się one dużą zmiennością odpływu w czasie. Na tym obszarze występują stosunkowo niewielkie zasoby wód podziemnych.
4. Część dorzecza obejmująca środkową Wisłę ma największą powierzchnię. Zasoby wód powierzchniowych są tam mniejsze niż w części dorzecza górnej Wisły. Obszar ten jest jednak zasobny w wody podziemne. Mimo stosunkowo dużych poborów rezerwy zasobów wód podziemnych należą do największych w całym dorzeczu Wisły. Najmniejszymi własnymi zasobami charakteryzuje się część dorzecza obejmująca dolną Wisłę. Dotyczy to zarówno wód podziemnych, jak i powierzchniowych. Sumaryczny średni roczny odpływ z całego dorzecza Wisły wynosi 32,8 km<sup>3</sup>.
5. Analiza wskazuje, że zagrożenia powodziowe istnieją ze względu na możliwość nieregularnych opadów, jak również niewystarczającą pojemność rezerwy powodziowej w zbiornikach retencyjnych. Istnieją duże zastrzeżenia w stosunku do wałów przeciwpowodziowych. W 2011 r. przyjęto program ochrony przeciwpowodziowej w zlewni górnej Wisły. Powstała koncepcja *Programu bezpieczeństwa powodziowego w zlewni Wisły środkowej*. Kompleksowe zabezpieczenie przeciwpowodziowe Żuław przewidziano na lata 2009–2030 w ramach *Programu Żuławskiego – 2030*. Realizacja tego przedsięwzięcia będzie prowadzona w dwóch lub trzech etapach. Na odcinku dolnej Wisły największe zagrożenia powodziowe występują w okresie zimowym w wyniku tworzenia się zatorów lodowych i śryżowych. Mimo stwierdzonego ocieplenia klimatu problemy powodzi zatorowych na dolnej Wiśle nadal istnieją i są bardzo groźne.
6. Analiza istniejących ujęć wód powierzchniowych wskazuje, że przyznane w ramach pozwoleń wodnoprawnych wielkości ujęcia wody nie są wykorzystywane, a ilości wody ujmowanej nie mają istotnego wpływu na przepływy w najbliższej zlokalizowanych przekrojach wodowskazowych. Istnieją więc duże rezerwy.
7. Prognozowane zmiany klimatu wskazują na konieczność powiększenia pojemności zbiorników retencyjnych, przede wszystkim ze względu na ochronę przeciwpowodziową i ograniczenie skutków suszy. Istnieje wiele potencjalnych lokalizacji takich obiektów hydrotechnicznych. Konieczne jest wykonanie dla tych projektów ocen oddziaływania na środowisko. W rozdziale *Ramowy system ocen...* przedstawiono koncepcję takiej oceny.

## Literatura

- Atlas Podziału Hydrograficznego Polski, IMGW 2005
- Barczyk A. i in., 1999, Przebieg wezbrania w dorzeczu Wisły w: Dorzecze Wisły: monografia powodzi, J. Grela, H. Słota, J. Zieliński (red.), IMGW, Warszawa
- Bednarczyk S. I IN., 2006, Vademecum ochrony przeciwpowodziowej, Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa
- Biedroń I., Bogdańska-Warmuz R., Kwiecień M., 2011, Szkody i straty powodziowe w dorzeczu Wisły w: Dorzecze Wisły: Monografia powodzi maj – czerwiec 2010, M. Maciejewski, M.S. Ostojki, T. Walczykiewicz (red.), IMGW-PIB, Warszawa
- Bielecka E., 2007, Możliwości wykorzystania bazy danych o pokryciu terenu CORINE Land Cover do kartowania i analizowania krajobrazu w: Znaczenie badań krajobrazowych dla zrównoważonego rozwoju, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa
- Bielecka E., 2008, Wyniki projektu CORINE Land Cover 2006 i wykorzystanie baz danych CORINE Land Cover 1990 i 2000 w Polsce, Seminarium GIOŚ
- Biernat B., 1994, Typowe okresy występowania wezbrań w: Atlas Rzeczypospolitej Polskiej: Cz. 2 – Środowisko naturalne, M. Najgrakowski (red.), Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Polskie Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych im. E. Romera S.A., Warszawa
- Bogdanowicz E. i in., 2008, Koncepcja nowego atlasu hydrologicznego Polski, Materiały Badawcze – Seria: Hydrologia i oceanologia, IMGW, Warszawa
- Ciołkosz A., Poławski Z.F., 2006, Zmiany użytkowania ziemi w Polsce w drugiej połowie XX wieku, Przegląd geograficzny, 78, 2, 173–190
- CLC2006 technical guidelines, 2007, EEA Technical report, no 17/2007, EEA, Copenhagen
- Dynowska I., 1994, Reżim odpływu rzecznego w: Atlas Rzeczypospolitej Polskiej: Cz. 2 – Środowisko naturalne, M. Najgrakowski (red.), Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Polskie Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych im. E. Romera S.A., Warszawa
- Dynowska I., Maciejewski M. (red.), 1991, Dorzecze Górnej Wisły. Cz. I i II, PWN, Warszawa-Kraków
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2001/42/WE z dnia 27 czerwca 2001 r. w sprawie oceny wpływu niektórych planów i programów na środowisko (SOOŚ)
- Dyrektywa Rady 85/337/EWG z dnia 27 czerwca 1985 r. w sprawie oceny skutków wywieranych przez niektóre przedsięwzięcia publiczne i prywatne na środowisko naturalne (OOŚ)
- Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory
- Iwiński J. i in., 2003, Rozkład przestrzenny i częstotliwość występowania powodzi katastrofalnych w Polsce w latach 1946–2001 jako podstawa planowania i kontroli stanu zabezpieczenia przed powodzią oraz prowadzenia operacyjnych działań przeciwpowodziowych. Sprawozdanie z realizacji II etapu – Opracowanie końcowe, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, Warszawa
- Jabłoński M. i in., 2010, Określenie obszarów leśnych na terenie dorzecza Wisły. Ekspertyza, Sękin Stary
- Kaskada dolnej Wisły, 1983, PROEKO Sp z o.o., Warszawa
- Kasprzyk A., 2005, Rola czynników fizycznogeograficznych w kształtowaniu susz hydrologicznych w Europie Środkowej w: Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne, E. Bogdanowicz, U. Kossakowska-Cezak, J. Szkutnicki (red.), Polskie Towarzystwo Geofizyczne i Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa
- Kompleksowe zabezpieczenie przeciwpowodziowe Żuław do roku 2030 (z uwzględnieniem etapu 2015), 2010, Ministerstwo Środowiska



- Kowalik P., 2001, Polderowa gospodarka wodna na Żuławach delty Wisły, Monografie KGW PAN, z. 19, Ofic. Wyd. P. Warsz., Warszawa
- Lorenc H., 2000, Klimat jako element zagrożenia. Współczesne problemy ekstremalnych zagrożeń środowiska, II Ogólnopolska Szkoła Jachranka
- Łabędzki L., 2004, Problematyka susz w Polsce, Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie, t. 4 z.1 (10), IMUZ
- Maciejewski M., Majewski W., 2011, Aktualny stan i zagospodarowanie Wisły i jej dorzecza, Wiadomości Meteorologii Hydrologii Gospodarki Wodnej, t. V(LV), z. 3/2011
- Maidment D. R., 1993, Handbook of hydrology, McGraw-Hill, Inc., New York
- Majewski W. (red.), 1985, Powódź zatorowa na Wiśle w rejonie Zbiornika Włocławek w zimie 1982, Komitet Gospodarki Wodnej PAN, seria: Monografie. Wyd. Geologiczne, Warszawa
- Majewski W., 1997, Powodzie zatorowe i sztormowe, Materiały XVII Ogólnopolskiej Szkoły Hydrauliki, Gdańsk
- Majewski W., 2009, Przepływ w kanałach otwartych z uwzględnieniem zjawisk lodowych, IMGW Warszawa
- Majewski W., Stepnowski R., 2012, Część III – zlewnia Wisły dolnej, raport z zad. 9.7., projekt KLIMAT, IMGW-PIB, Warszawa
- Majewski W., Stepnowski R., Wita A., 2009, Określenie obecnego stanu Wisły i jej dorzecza oraz spodziewanych zmian w perspektywie średnio (5 lat) i długookresowej (15-20 lat) – etap 1 (9.1), podzadanie obszar: Wisła dolna, projekt KLIMAT, zad. 9, IMGW-PIB, Warszawa
- Marcinkowski M., 2011, Zmiany pokrycia terenu dorzecza Wisły oraz ich możliwy wpływ na zasoby wodne, Wiadomości Meteorologii Hydrologii Gospodarki Wodnej, t. V, z. 3/2011
- Mikulski Z., 1954, Katastrofalne powodzie w Polsce, Czasopismo Geograficzne, t. XXV, z. 4, Polskie Towarzystwo Geograficzne, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa – Wrocław
- Mikulski Z., 1962, Występowanie niżówek, wezbrań i powodzi w rzekach polskich, Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej, z. 49, Państwowy Instytut Hydrologiczno-Meteorologiczny, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa
- Mioduszewski W. i in., 2009a, Stan melioracji podstawowych w obszarze dorzecza Wisły – ekspertyza, IMUZ, Falenty
- Mioduszewski W. i in., 2009b, Stan melioracji podstawowych w obszarze dorzecza Wisły – ekspertyza, aneks 1: Uaktualnione mapy zlewni Wisły, IMUZ, Falenty
- Określenie ilości i stanu wód gruntowych na obszarze dorzecza Wisły, 2010, Ekspertyza wykonana przez Uniwersytet Gdański
- Określenie obszarów leśnych na terenie dorzecza Wisły, 2010, Ekspertyza wykonana przez Instytut Badawczy Leśnictwa
- Ostrowski J. i in., 1999, Monografia katastrofalnych powodzi w Polsce w latach 1946-1998, etap I: Zebranie materiałów i opracowanie chronologicznego zestawienia powodzi, IMGW, Warszawa
- Piekarek-Jankowska H. i in., 2010, Określenie ilości i stanu wód gruntowych na obszarze dorzecza Wisły, Gdynia
- Piskozub A. (red.), 1982, Wisła. Monografia rzeki, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa
- Prawo wodne, 2001 (wraz z późniejszymi zmianami), Dz. U. 2001 nr 115 poz. 1229
- Program Bezpieczeństwa Powodziowego w Dorzeczu Wisły Środkowej – założenia, 2011, Warszawa
- Program dla Wisły i jej dorzecza do roku 2020, [www.kzgw.gov.pl]
- Program ochrony przed powodzią w dorzeczu górnej Wisły, 2011, zał. 1 do Uchwały nr 151/2011 Rady Ministrów z dnia 9 sierpnia 2011 r., MSW, Warszawa
- Projekt KLIMAT, 2011, Zadanie 9, Opracowanie 9.6., IMGW PIB
- Projekt Polityki wodnej państwa do roku 2030, 2011, KZGW, Warszawa, [www.kzgw.gov.pl]

- Punzet J., 1982, Podział biegu i profile podłużne Wisły górnej i jej karpackich dopływów, *Gospodarka Wodna*, nr 6
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z 22 sierpnia 2007 r. w sprawie podmiotów, którym państwowa służba hydrologiczno-meteorologiczna i państwowa służba hydrogeologiczna są obowiązane przekazywać ostrzeżenia, prognozy, komunikaty i biuletyny oraz sposobu i częstotliwości ich przekazywania, Dz. U. nr 158, poz. 1114
- Sasim M., Walijewski G., 2011, Sytuacja hydrologiczno-meteorologiczna i przebieg powodzi w zlewni środkowej i dolnej Wisły, w: *Dorzecze Wisły: Monografia powodzi maj czerwiec 2010*, M. Maciejewski, M.S. Ostojski, T. Walczykiwicz (red.), IMGW-PIB, Warszawa
- Stachý J. i in., 1996, *Wezbrania rzek polskich w latach 1951–1990*, Materiały Badawcze – Seria: Hydrologia i Oceanologia, nr 20, IMGW, Warszawa
- Stan melioracji podstawowych na obszarze dorzecza Wisły, 2009, Ekspertyza wykonana przez Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach
- Starkel L., Kundzewicz Z.W., 2008, Konsekwencje zmian klimatu dla zagospodarowania przestrzennego kraju, *Nauka*, 1, 85–101
- Śmiech A., 2011, Sytuacja hydrologiczno-meteorologiczna w zlewni górnej Wisły w: *Dorzecze Wisły: Monografia powodzi maj czerwiec 2010*, M. Maciejewski, M.S. Ostojski, T. Walczykiwicz (red.), IMGW-PIB, Warszawa
- Tokarczyk T., 2010, Niżówka jako wskaźnik suszy hydrologicznej, IMGW, Warszawa
- Tokarczyk T., 2011, Metody oceny zasobów wodnych zlewni rzek o różnym charakterze i stopniu zagospodarowania, IMGW-PIB, Warszawa
- Walczykiwicz T., Program rewitalizacji żeglugi śródlądowej NAIADES w kontekście wymogów Ramowej Dyrektywy Wodnej, *Gospodarka Wodna*, nr 1/2007, Warszawa, 17–21
- Walczykiwicz T., 2005, Silnie zmienione i sztuczne części wód w świetle zapisów Ramowej Dyrektywy Wodnej 2000/60/WE, XI Konferencja Technicznej Kontroli Zapór, IMGW, 341–346
- Walczykiwicz T., 2007, Program rewitalizacji żeglugi śródlądowej NAIADES w kontekście wymogów Ramowej Dyrektywy Wodnej, *Gospodarka Wodna*, nr 1/2007, Warszawa, 17–21
- Walczykiwicz T. i in., 2009, Określenie obecnego stanu Wisły i jej dorzecza oraz spodziewanych zmian w perspektywie średnio (5 lat) i długookresowej (15-20 lat) – etap 1 (9.1), podzadanie obszar: Wisła górna, projekt KLIMAT, zad. 9, IMGW-PIB, Warszawa
- Walczykiwicz T., Czoich K., Kulesza K., 2009, Presje hydromorfologiczne w świetle polityki wodnej Unii Europejskiej, *Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk*, z.31, Warszawa
- Walczykiwicz T., Rataj C., 2011, Analiza pracy zbiorników retencyjnych w: *Dorzecze Wisły: Monografia powodzi maj czerwiec 2010*, M. Maciejewski, M.S. Ostojski, T. Walczykiwicz (red.), IMGW-PIB, Warszawa
- Water resources across Europe — confronting water scarcity and drought, 2009, EEA Report No 2/2009, EEA, Copenhagen
- Winter J. i in., 2009, Określenie obecnego stanu Wisły i jej dorzecza oraz spodziewanych zmian w perspektywie średnio (5 lat) i długookresowej (15-20 lat) – etap 1 (9.1), podzadanie obszar: Wisła środkowa, projekt KLIMAT, zad. 9, IMGW-PIB, Warszawa
- Winter J., Chudy Ł., Marcinkowski M., 2010, Program ochrony przed powodzią w dorzeczu górnej Wisły, Ministerstwo Spraw Wewnętrznych i Administracji, Warszawa
- Wytyczne – wdrożenie dyrektywy 2001/42 w sprawie oceny wpływu niektórych planów i programów na środowisko, Komisja Europejska
- Zaktualizowana koncepcja przestrzennego zagospodarowania kraju, 2005, Rządowe Centrum Studiów Strategicznych, Warszawa
- Zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko naturalne Polski oraz określenie ich skutków ekonomicznych, 2011, projekt KLIMAT, zad. 1, IMGW-PIB, Warszawa – Gdynia – Kraków, [[http://klimat.imgw.pl/wp-content/uploads/2011/02/zad.1\\_R2010w.pdf](http://klimat.imgw.pl/wp-content/uploads/2011/02/zad.1_R2010w.pdf)]

### **Strony internetowe**

<http://www.krakow.rzgw.gov.pl>

[http://www.msw.gov.pl/porta1/pl/641/9426/Ochrona\\_przed\\_powodziami.html](http://www.msw.gov.pl/porta1/pl/641/9426/Ochrona_przed_powodziami.html)

[www.posucha.imgw.pl](http://www.posucha.imgw.pl)

<http://www.rzgw.gda.pl/>

<http://www.rzgw.gliwice.pl>

<http://www.warszawa.rzgw.gov.pl>

### **Podziękowania**

Część IV monografii stanowi podsumowanie prac realizowanych w zadaniu 9 w okresie 2008–2012. Jako koordynator tego zadania, jak również redaktor części IV, pragnę serdecznie podziękować wszystkim, którzy brali aktywny udział w realizacji zadania, a także tym, którzy przygotowali poszczególne podrozdziały, przyczyniając się tym samym do upowszechnienia uzyskanych wyników.

Prof. Wojciech Majewski  
Redaktor części IV



<b>AUTORZY</b>	<b>AFILIACJA</b>
<b>CHUDY</b> Łukasz <b>JAWORSKI</b> Witold <b>MARCINKOWSKI</b> Michał	IMGW-PIB Ośrodek Główny w Warszawie Ośrodek Hydrologii
<b>WINTER</b> Jan	IMGW-PIB Ośrodek Główny w Warszawie Z-ca Dyrektora ds. Hydrologii, Gospodarki i Inżynierii Wodnej
<b>MACIEJEWSKI</b> Maciej	IMGW-PIB Ośrodek Główny w Warszawie Z-ca Dyrektora ds. Badawczych
<b>MAJEWSKI</b> Wojciech <b>STEPNOWSKI</b> Rafał	IMGW-PIB Ośrodek Główny w Warszawie Ośrodek Informacji Naukowej
<b>GUTOWSKA-SIWIEC</b> Lidia <b>ŚLESICKI</b> Marek <b>TRANDZIUK</b> Paweł <b>WITOWSKI</b> Krzysztof <b>WRÓBEL</b> Joanna	IMGW-PIB Ośrodek Główny w Warszawie Ośrodek Gospodarki Wodnej
<b>BARSCZYŃSKA</b> Małgorzata <b>BIEDROŃ</b> Ilona <b>BOROŃ</b> Agnieszka <b>CZOCH</b> Katarzyna <b>DLUGOSZ</b> Małgorzata <b>KUBACKA</b> Danuta <b>KULESZA</b> Krzysztof <b>KWIECIEŃ</b> Magdalena <b>ŁACIAK</b> Jadwiga <b>ŁUDZIK</b> Anna <b>OPIAL-GAŁUSZKA</b> Urszula <b>RATAJ</b> Celina <b>SZOPNICKA</b> Małgorzata <b>WALCZYKIEWICZ</b> Tomasz <b>WOŹNIAK</b> Łukasz <b>ZIENTARSKA</b> Barbara	IMGW-PIB Oddział w Krakowie Zakład Gospodarki Wodnej i Systemów Wodnogospodarczych
<b>BOGDAŃSKA-WARMUZ</b> Renata <b>KONIECZNY</b> Roman <b>MADEJ</b> Paweł <b>SIUDAK</b> Małgorzata	IMGW-PIB Oddział w Krakowie Biuro Współpracy z Samorządami
<b>DMITRUK</b> Urszula	IMGW-PIB Ośrodek Technicznej Kontroli Zapór w Katowicach Zakład Chemii
<b>KŁOZE</b> Jerzy	IMGW-PIB Ośrodek Technicznej Kontroli Zapór w Katowicach Zakład Ocen, Stanu Technicznego i Stanu Bezpieczeństwa Budowli Piętrzących
<b>SIEŃSKI</b> Edmund	IMGW-PIB Ośrodek Technicznej Kontroli Zapór w Katowicach Dyrektor Ośrodka
<b>BEDRYJ</b> Marta	IMGW-PIB Oddział w Poznaniu Zespół Technik Matematycznych Gospodarki Wodnej