INSPEKCJA OCHRONY ŚRODOWISKA

ZINTEGROWANY MONITORING ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO

Organizacja, system pomiarowy, metody badań

Wytyczne do realizacji

Biblioteka Monitoringu Środowiska

Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego

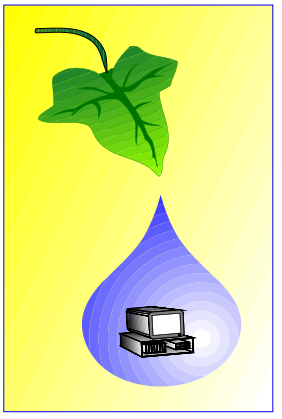
Organizacja, system pomiarowy, metody badań
Wytyczne do realizacji

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Centrum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego UAM
Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego

Organizacja, system pomiarowy, metody badań
Wytyczne do realizacji

pod redakcją
Andrzeja Kostrzewskiego i Mikołaja Majewskiego



Biblioteka Monitoringu Środowiska
Warszawa 2021

Redaktor serii:
prof. zw. dr hab. Andrzej Kostrzewski

Redaktor tomu:
prof. zw. dr hab. Andrzej Kostrzewski
dr Mikołaj Majewski

Recenzenci:
dr Anna Dmowska
prof. dr hab. Janina Borysiak
prof. dr hab. Kazimierz Krzemień
prof. dr hab. Rafał Kozłowski

Copyright by Główny Inspektorat Ochrony Środowiska

Wydanie I

Sfinansowano ze środków
Narodowego Funduszu
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

ISBN 978-83-7986-358-7

Projekt, korekta, skład i łamanie:
Bogucki Wydawnictwo Naukowe
e-mail: biuro@bogucki.com.pl

Spis treści

Przedmowa 11

1. Wprowadzenie – koncepcja organizacji i realizacji programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego 15
Andrzej Kostrzewski

2. Założenia metodologiczne i metodyczne Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego 21
Andrzej Kostrzewski, Mikołaj Majewski, Józef Szpikowski
2.1. Geoekosystem zlewni rzecznej i jeziornej 21
2.2. Zakres pomiarowy, program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego 27
2.3. Sieć Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego 30

3. Organizacja i cele Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego 38
Andrzej Kostrzewski, Mikołaj Majewski, Józef Szpikowski
3.1. Organizacja i struktura Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Państwowym Monitoringu Środowiska 38
3.2. Powiązanie systemu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego z systemem europejskim Integrated Monitoring i dyrektywą pułapową 42

4. Zlewnie badawcze Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego 48
Andrzej Kostrzewski, Mikołaj Majewski, Józef Szpikowski
4.1. Założenia doboru zlewni rzecznych i jeziornych do sieci Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego 48
4.2. Dokumentacja zlewni eksperymentalnej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego 51

5. Podstawy standaryzacji terenowych systemów pomiarowych 63
Marek Marciniak
5.1. Określenia i cele standaryzacji 63
5.2. Zalety i wady standaryzacji 64
5.3. Podstawowe poziomy standaryzacji 64
5.4. Standaryzacja programów pomiarowych 65
5.5. Standaryzacja aparatury pomiarowej i stanowisk obserwacyjnych 67
5.6. Standaryzacja częstotliwości wykonania pomiaru 69
5.7. Standaryzacja metod poboru i transportu próbek wody i gruntów 69
5.8. Standaryzacja zakresu i metodyki wykonywania analiz fizykochemicznych 70
5.9. Standaryzacja gromadzenia i udostępniania danych 70
5.10. Uwagi końcowe 71

6. Programy pomiarowe Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego 72
6.1. Program A1 – Meteorologia 72
Marek Kejna
6.1.1. Wprowadzenie, cel pomiarów 72
6.1.2. Zakres parametrów pomiarowych 73
6.1.3. Metodyka pomiarów meteorologicznych 75
6.1.4. Dokumentacja pomiarów meteorologicznych 87
6.1.5. Kontrola i weryfikacja danych 88
6.1.6. Raportowanie danych do bazy danych 88
6.2. Program B1 – Zanieczyszczenie powietrza 91
Anna Degórska
6.2.1. Wprowadzenie, cel pomiarów 91
6.2.2. Zakres parametrów pomiarowych 91
6.2.3. Metodyka 93
6.2.4. Kontrola i weryfikacja danych 97
6.2.5. Raportowanie danych do bazy danych 98
6.3. Program C1 – Chemizm opadów atmosferycznych 100
Anna Degórska, Ewa Żyfka-Zagrodzińska
6.3.1. Wprowadzenie, cel pomiarów 100
6.3.2. Zakres parametrów pomiarowych 101
6.3.3. Metodyka 102
6.3.4. Kontrola i weryfikacja danych 109
6.3.5. Raportowanie danych do bazy danych 109
6.4. Program C2 – Chemizm opadu podkoronowego 111
Anna Degórska, Ewa Żyfka-Zagrodzińska
6.4.1. Wprowadzenie, cel pomiarów 111
6.4.2. Zakres parametrów pomiarowych 112
6.4.3. Metodyka 113
6.4.4. Kontrola i weryfikacja danych 118
6.4.5. Raportowanie danych do bazy danych 118
6.5. Program C3 – Chemizm spływu po pniach 120
Anna Degórska, Ewa Żyfka-Zagrodzińska
6.5.1. Wprowadzenie, cel pomiarów 120
6.5.2. Zakres parametrów pomiarowych 121
6.5.3. Metodyka 122
6.5.4. Kontrola i weryfikacja danych 126
6.5.5. Raportowanie danych do bazy danych 127
6.6. Program D1 – Metale ciężkie i siarka w porostach 129
Małgorzata Jóźwiak
6.6.1. Wprowadzenie, cel pomiarów 129
6.6.2. Zakres parametrów pomiarowych 130
6.6.3. Metodyka 130
6.6.4. Interpretacja wyników 131
6.6.5. Raportowanie danych do bazy danych 131

6.7. Program D2 – Metale ciężkie i siarka w mchach 134
Małgorzata Jóźwiak
6.7.1. Wprowadzenie, cel pomiarów 134
6.7.2. Zakres parametrów pomiarowych 136
6.7.3. Metodyka 136
6.7.4. Interpretacja wyników 137
6.7.5. Raportowanie danych do bazy danych 138
6.8. Program E1 – Gleby 141
Jolanta Komisarek, Jerzy Marcinek, Michał Kozłowski, Katarzyna Wiatrowska
6.8.1. Wprowadzenie 141
6.8.2. Zakres parametrów pomiarowych 141
6.8.3. Metodyka 143
6.8.4. Raportowanie danych do bazy danych 151
6.9. Program F1 – Chemizm roztworów glebowych 154
Jolanta Komisarek, Jerzy Marcinek, Katarzyna Wiatrowska
6.9.1. Wprowadzenie, cel badań 154
6.9.2. Zakres parametrów pomiarowych 155
6.9.3. Metodyka 157
6.9.4. Opracowanie danych 164
6.9.5. Raportowanie danych do bazy danych 165
6.10. Program F2 – Wody podziemne 175
Marek Marciniak
6.10.1. Wprowadzenie, cel pomiarów 175
6.10.2. Zakres parametrów pomiarowych 175
6.10.3. Metodyka 176
6.10.4. Kontrola i weryfikacja danych 182
6.10.5. Raportowanie danych do bazy danych 186
6.11. Program G2 – Opad organiczny 188
Marek Jóźwiak
6.11.1. Wprowadzenie, cel pomiarów 188
6.11.2. Zakres parametrów pomiarowych 189
6.11.3. Metodyka 190
6.11.4. Interpretacja wyników 191
6.11.5. Raportowanie danych do bazy danych 192
6.12. Program H1 – Wody powierzchniowe – rzeki 195
Maciej Lenartowicz
6.12.1. Wprowadzenie, cel pomiarów 195
6.12.2. Zakres parametrów pomiarowych 198
6.12.3. Metodyka 200
6.12.4. Kontrola i weryfikacja danych 224
6.12.5. Raportowanie danych do bazy danych 225
6.13. Program H2 – Wody powierzchniowe – jeziora 229
Maciej Lenartowicz
6.13.1. Wprowadzenie, cel pomiarów 229
6.13.2. Zakres parametrów pomiarowych 231

6.13.3. Metodyka 233
6.13.4. Kontrola i weryfikacja danych 241
6.13.5. Raportowanie danych do bazy danych 241
6.14. Program I1 – Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego 243
Krzysztof Szoszkiewicz, Szymon Jusik, Daniel Gebler
6.14.1. Wprowadzenie, cel pomiarów 243
6.14.2. Zakres parametrów pomiarowych 244
6.14.3. Metodyka 245
6.14.4. Kontrola i weryfikacja danych 255
6.14.5. Raportowanie danych do bazy danych 255
6.15. Program J2 – Struktura i dynamika szaty roślinnej (powierzchnie stałe) 260
Julian Chmiel, Zbigniew Celka, Bogdan Jackowiak
6.15.1. Wprowadzenie, cel pomiarów 260
6.15.2. Zakres parametrów pomiarowych 260
6.15.3. Metodyka 266
6.15.4. Kontrola i weryfikacja danych, raportowanie danych do bazy danych 273
6.16. Program J3 – Monitoring gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – rośliny 283
Lech Krzysztofiak
6.16.1. Wprowadzenie, cel pomiarów 283
6.16.2. Metodyka 284
6.16.3. Raportowanie danych do bazy danych 292
6.17. Program K1 – Uszkodzenia drzew i drzewostanów 297
Grzegorz Zajączkowski
6.17.1. Wprowadzenie i cel pomiarów 297
6.17.2. Metodyka pomiarowa 298
6.17.3. Ocena stanu zdrowotnego drzew 303
6.17.4. Raportowanie danych do bazy danych 303

7. Programy analityczne Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego 306
7.1. Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi 306
Zbigniew Zwoliński
7.1.1. Wprowadzenie, cel analiz 306
7.1.2. Metodyka 308
7.2. Świadczenia geoekosystemów 320
Małgorzata Stępniewska
7.2.1. Wprowadzenie, cel analiz 320
7.2.2. Metodyka 320

7.3. Modelowanie zmian bilansu wodnego i biogeochemicznego dla zlewni reprezentatywnych ZMŚP 327
Witold Bochenek, Joanna Gudowicz
7.3.1. Wprowadzenie i cel badań 327
7.3.2. Metodyka 330
7.3.3. Przebieg procesu symulacji 335
7.3.4. Kalibracja uzyskanych wyników i miary jej oceny 337
7.3.5. Wytyczne do zestawienia w raportach 339

8. Zapewnienie jakości danych 344
Anna Degórska, Ewa Żyfka-Zagrodzińska
8.1. Założenia ogólne 344
8.2. Zapewnienie jakości pobierania próbek 345
8.2.1. Pobieranie próbek wodnych i postępowanie z nimi 346
8.3. Zapewnienie jakości analiz chemicznych 348
8.3.1. Bilans jonowy 349
8.3.2. Stosunek stężenia jonów sodowych do chlorkowych 351
8.3.3. Test przewodności 351

9. Zasady gromadzenia i przekazywania danych do Centralnej Bazy Danych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego . . 355
Robert Kruszyk
9.1. Wstęp 355
9.2. Komunikacja z bazą danych 356
9.2.1. Konfiguracja połączenia z bazą danych 356
9.2.2. Konfiguracja dodatku ZMSP w programie MS Excel 357
9.3. Zasady kodowania danych pomiarowych 359
9.3.1. Struktura plików z danymi obserwacyjnymi 359
9.3.2. Zasady kodowania programów i parametrów pomiarowych 359
9.3.3. Zasady kodowania obszarów badawczych (Stacji Bazowych), stanowisk pomiarowych oraz instytucji prowadzących pomiary 359
9.3.4. Zasady kodowania daty 363
9.4. Weryfikacja danych pomiarowych i ładowanie do bazy danych . . . 365
9.5. Zasady oflagowania danych pomiarowych 367
9.6. Przeglądanie i pobieranie danych pomiarowych i słowników 372

10. Podsumowanie 375
Andrzej Kostrzewski, Mikołaj Majewski

Przedmowa

Rozwój metodologiczny i metodyczny nauk o środowisku przyrodniczym sprawia, że obserwujemy stały wzrost informacji naukowej, wzbogacającej studia środowiskowe. Należy stwierdzić, że rozwój nauk przyrodniczych stymuluje, określa organizację i kierunki rozwoju monitoringu środowiska przyrodniczego jako metody badań środowiskowych. Równocześnie zaznacza się indywidualizacja i rozwój monitoringu środowiska przyrodniczego jako samodzielnego kierunku badań w naukach przyrodniczych (np. w biologii, chemii, geografii, a także w naukach inżynierskich), który definiuje swój przedmiot i metody badań.

Wypracowane prawidłowości w ramach monitoringu środowiska przyrodniczego mają nie tylko znaczenie teoretyczne, ale także praktyczne w ochronie środowiska, mogą być przydatne w opracowaniu, weryfikacji koncepcji, organizacji i realizacji Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska.

Początki realizacji monitoringu środowiska przyrodniczego obejmują w Polsce okres po II wojnie światowej. Monitoring środowiska przyrodniczego podporządkowany był różnym resortom, brak było odpowiedniej koncepcji zarówno merytorycznej, jak i organizacyjnej o charakterze kompleksowym dla całego kraju.

Koncepcja organizacji monitoringu środowiska przyrodniczego w Polsce przedstawiona została w 1991 r. przez Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa prof. dr. hab. Stefana Kozłowskiego, po długiej konsultacji ze środowiskiem naukowym i odpowiednimi resortami. Sprawy organizacji i realizacji monitoringu środowiska przyrodniczego w oparciu o przedstawioną koncepcję z wielkim zaangażowaniem i niezwykłą umiejętnością prowadził Główny Inspektor Ochrony Środowiska mgr inż. Andrzej Walewski oraz kolejni jego następcy. Należy podkreślić, że był to okres bardzo ważny w historii rozwoju monitoringu środowiska przyrodniczego w Polsce.

Państwowy Monitoring Środowiska w Polsce ustanowiony został ustawą o Państwowej Inspekcji Środowiska z dnia 20.07.1991 r., która uregulowała sposób organizacji i realizacji monitoringu środowiska przyrodniczego w naszym kraju. W tym czasie w ramach Komitetu Naukowego „Człowiek i Środowisko" przy Prezydium PAN przebiegały dyskusje dotyczące wprowadzenia kompleksowego monitoringu środowiska przyrodniczego, obok przyjętych w PMŚ programów monitoringu odnoszących się do poszczególnych komponentów środowiska.

Koncepcja Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (opracowana przez A. Kostrzewskiego z zespołem i przyjęta w postępowaniu konkursowym GIOŚ) została zatwierdzona zarządzeniem Głównego Inspektora Ochrony Środowiska z dnia 11.05.1992 r.

Program ZMŚP jest programem rozpoznania stanu i funkcjonowania geoekosystemów (krajobrazów) zlewni rzecznych i jeziornych, w różnych skalach przestrzennych i czasowych, w warunkach obserwowanych zmian klimatu i narastającej antropopresji. Podstawą realizacji programu ZMŚP jest dobrze zorganizowany system pomiarowy na Stacjach Bazowych, reprezentujących podstawowe typy krajobrazu Polski. Sprawą pierwszorzędnej wagi są wieloletnie, zweryfikowane serie obserwacyjne, uzyskane w oparciu o standaryzowany system badań terenowych i laboratoryjnych, zgromadzone w profesjonalnej bazie danych ZMŚP.

Organizacja sprawnego systemu informatycznego zabezpiecza upowszechnianie wyników badań dla celów zarówno naukowych, jak i praktycznych, ze szczególnym zwróceniem uwagi na ochronę zasobów przyrodniczych kraju.

Program ZMŚP od 2017 r. jest częścią programu europejskiego Integrated Monitoring (Integrated Co-operative Programme on Integrated Monitoring on Air Pollution Effects, ICP/IM).

Realizacja programu krajowego ZMŚP, w tym przyjęte zobowiązanie przekazywania danych pomiarowych do systemu europejskiego Integrated Monitoring, nakłada specjalne wymogi na poprawność metodyczną w toku postępowania badawczego. Chodzi przede wszystkim o stosowanie zweryfikowanych, standaryzowanych metod badawczych, zarówno terenowych, jak i laboratoryjnych, w celu uzyskania wiarygodnych, porównywalnych serii obserwacyjnych.

Metody badań zastosowane w realizacji programu ZMŚP pochodzą z różnych dyscyplin nauk przyrodniczych, są systematycznie weryfikowane w zakresie uzyskiwanych wyników badań.

Wytyczne, głównie o charakterze metodycznym, do realizacji programu ZMŚP opublikowane zostały w 1995 r. (Kostrzewski, Mazurek, Stach 1995), co stanowiło wówczas wyraźny postęp w zakresie standaryzacji stosowanych metod w monitoringu środowiska przyrodniczego. Kolejna weryfikacja metodyk ZMŚP powiązana była z nowymi wynikami badań nauk przyrodniczych, koniecznością dostosowania standardów metodycznych ZMŚP do systemu europejskiego Integrated Monitoring, miała miejsce w 2006 r. (on-line, Kostrzewski, Kruszyk, Kolander 2006). Z kolei w 2015 r. dokonano przeglądu weryfikacji stosowanych metodyk ZMŚP w związku z podjętymi standardami włączenia ZMŚP do systemu Integrated Monitoring (on-line, Kostrzewski, Szpikowski 2015).

Przekazujemy kolejne wydanie wytycznych do realizacji programu ZMŚP, które są elementem wieloletniej realizacji tego programu, zdobytych doświadczeń w tym zakresie, wynikiem dostosowania programu ZMŚP do europejskiego programu Integrated Monitoring, a przede wszystkich uwzględniają niewątpliwy postęp merytoryczny w rozwoju nauk przyrodniczych.

Koncepcja i układ opracowania, podporządkowane realizowanemu programowi ZMŚP, zostały przedstawione w 9 rozdziałach. Kolejne rozdziały zawierają indywidualność przedmiotu badań ZMŚP, podstawy metodologiczno-metodyczne organizacji badań oraz prezentacje poszczególnych programów ZMŚP, ze szczególnym zwróceniem uwagi na kolejne etapy organizacji i realizacji badań wraz z wytycznymi w zakresie opracowania zebranych danych pomiarowych.

Pragnę podziękować Głównemu Inspektorowi Ochrony Środowiska mgr. Markowi Chibowskiemu, dyrektor Departamentu Monitoringu Środowiska mgr Annie Katarzynie Wiech, mgr Hannie Kasprowicz, mgr Barbarze Albiniak, za przychylność, konsultacje i nieocenioną pomoc. Serdecznie dziękuję ekspertom ZMŚP za trud opracowania kolejnych programów, dziękuje kierownikom Stacji Bazowych za stałą dyskusję i pomoc oraz recenzentom za przegląd i krytyczną ocenę opracowania. Szczególnie serdecznie dziękuję sekretarzom naukowym Centrum ZMŚP – w ostatnich latach prof. UAM dr. hab. J. Tylkowskiemu i dr. M. Majewskiemu oraz sekretarzom administracyjnym m.in.: mgr M. Sajkowskiej, mgr M. Stefaniak, mgr Z. Woźniewicz-Szcześniak, za ich zaangażowanie i codzienną pomoc.

Opracowane wytyczne mają charakter otwarty, będą zapewne ulegały zmianom. Przekazujemy niniejsze opracowanie w przekonaniu, że będzie dobrze służyło ochronie zasobów przyrodniczych Polski.

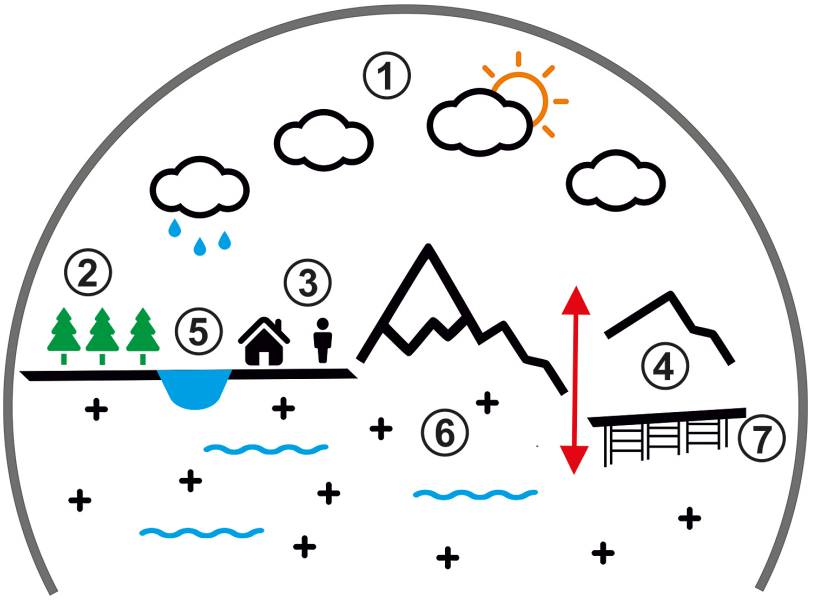
Andrzej Kostrzewski
Centrum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

1. Wprowadzenie – koncepcja organizacji i realizacji programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Andrzej Kostrzewski

Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

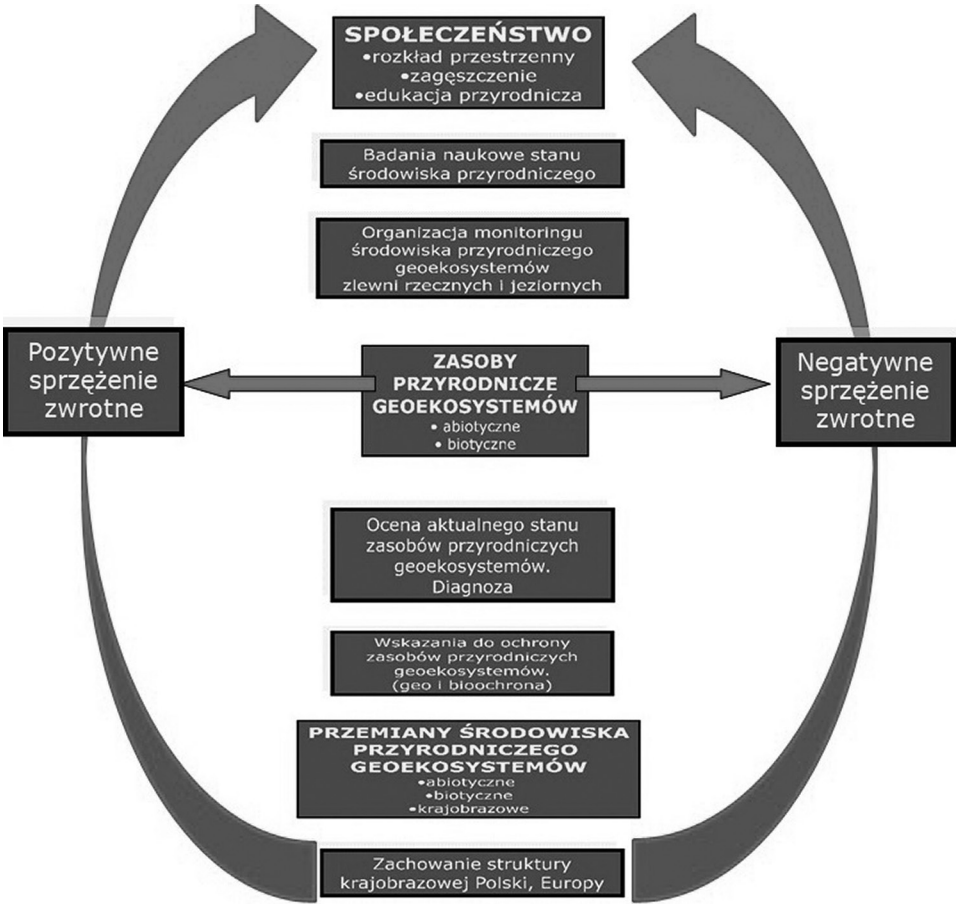
Rozpoznanie aktualnego stanu oraz kierunków i tempa przemian środowiska przyrodniczego, w różnych skalach przestrzennych (globalnej, kontynentalnej, regionalnej, lokalnej) i czasowych – z uwzględnieniem przeszłości i przyszłości, jest ważnym problemem badawczym zarówno z merytorycznego, jak i aplikacyjnego punktu widzenia. Należy stwierdzić, że powyższy problem ma znaczenie podstawowe, dotyczy zasobów przyrodniczych świata, które stymulują i zabezpieczają rozwój współczesnych i przyszłych społeczeństw. Zasoby przyrodnicze obejmują wszystkie strefy powierzchni Ziemi – atmosferę, morfosferę, litosferę, pedosferę, biosferę, hydrosferę i antroposferę (ryc. 1.1).



Ryc. 1.1. Ideogram geoekosystemu powierzchni Ziemi, z wydzielonymi sferami

W rozwoju środowiska przyrodniczego monitorowanych geoekosystemów obserwujemy ciągły w czasie, zróżnicowany przestrzennie proces współoddziaływania między poszczególnymi sferami (ryc. 1.1), które prowadzą do powstania nowych jakości i w konsekwencji doprowadzają do przemian krajobrazowych geoekosystemów. Wydzielone sfery określają nie tylko krajobraz geoekosystemów, ale stanowią ich zasoby przyrodnicze.

Zasoby przyrodnicze abiotyczne i biotyczne, poprzez zorganizowany monitoring odnosimy do zachodzących przemian środowiska przyrodniczego oraz do społeczeństwa (ryc. 1.2).



Ryc. 1.2. Zasoby przyrodnicze monitorowanych geoekosystemów zlewni rzecznych i jeziornych

Należy podkreślić, że zasoby przyrodnicze (ryc. 1.2) stanowią podstawową wartość, dobro monitorowanych geoekosystemów, ważne dla społeczeństw kraju, kontynentu, świata – dla ich egzystencji i rozwoju. Pojawiające się sytuacje

konfliktowe, dotyczące relacji człowiek–zasoby przyrodnicze odpowiednio monitorujemy i dokumentujemy. Sprawą bardzo ważną w monitoringu zasobów przyrodniczych jest rozpoznanie sprzężeń zwrotnych o charakterze pozytywnym i negatywnym, zachodzących między różnymi przejawami działalności człowieka a zasobami przyrodniczymi. Przedstawiona koncepcja monitoringu i oceny zasobów przyrodniczych, stanowi także ważne założenie realizacji programu Zintegrowanego Monitoring Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP).

Kwestią zasadniczą w rozpoznaniu sfer jest organizacja systematycznego, planowego monitoringu w celu określenia ich aktualnego stanu, zasobów przyrodniczych, zachodzących przemian, kierunków zagrożeń i form ochrony. Przedstawione wymogi monitoringu zasobów przyrodniczych realizuje Państwowy Monitoring Środowiska w programach monitoringów specjalistycznych dotyczących poszczególnych komponentów środowiska oraz programie ZMŚP.

Prawne podstawy funkcjonowania Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ) wprowadzone zostały w Polsce ustawą o Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska z dnia 20.07.1991 r. (Dz.U. nr 77, poz. 35).

W nawiązaniu do struktury systemu powierzchni Ziemi (ryc. 1.1) określono strukturę organizacyjną Państwowego Monitoringu Środowiska (PIOŚ 1992), a także jego powiązania administracyjne i zadania.

Aktualnie zadania Państwowego Monitoringu Środowiska realizowane są zgodnie z zatwierdzonym przez Ministra Klimatu „Strategicznym programem Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2020–2025". Celem działań prowadzonych w ramach PMŚ jest dostarczenie odpowiednim organom informacji niezbędnych do zarządzania środowiskiem oraz zapewnienie społeczeństwu dostępu do informacji o stanie środowiska. W prezentowanym programie podkreślono również działania na rzecz programu Natura 2000, zmierzające do stałego dostarczania informacji na potrzeby priorytetowych siedlisk przyrodniczych.

Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP) jest częścią podsystemu monitoringu przyrody funkcjonującego w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska i został zatwierdzony przez Głównego Inspektora Ochrony Środowiska odpowiednim zarządzeniem z dnia 11.05.1992 r.

Indywidualnością przedmiotową Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, jako części podsystemu monitoringu przyrody PMŚ, są przyjęte założenia metodologiczne i metodyczne, które różnią się od monitoringów specjalistycznych. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego jest monitoringiem stanu i funkcjonowania geoekosystemów zlewni rzecznych i jeziornych w różnych skalach przestrzennych (lokalnej, regionalnej, kontynentalnej i globalnej) i czasowych, z uwzględnieniem przeszłości i przyszłości (Kostrzewski 1991, 1993a, b, c, 1995a, b, 1996, 1997, 2011, 2016, 2020, Kostrzewski, Stach 1992, Kostrzewski i in. 1995, Kostrzewski, Majewski 2018). Ważnym zadaniem ZMŚP są studia modelowe rozwoju geoekosystemów Polski, przy przyjęciu różnych scenariuszy stanu środowiska przyrodniczego.

Realizacja koncepcji systemu i funkcjonowania geoekosystemów rzecznych i jeziornych w ZMŚP winna uwzględniać następujące założenia organizacji monitoringu środowiska przyrodniczego (Kostrzewski 2020):

- realizacja koncepcji zintegrowanego programu badań, oparta na podstawach teoretycznych koncepcji funkcjonowania systemu, umożliwiającej określenie bilansu materialnego i energetycznego monitorowanych geoekosystemów rzecznych i jeziornych;
- organizacja standaryzowanych systemów pomiarowych terenowych i laboratoryjnych, przy zastosowaniu zweryfikowanych metod badawczych;
- zabezpieczenie organizacyjne wieloletnich serii obserwacyjnych, ich weryfikacja i gromadzenie w centralnej bazie danych ZMŚP;
- przekazywanie serii obserwacyjnych ZMŚP do europejskiego systemu Integrated Monitoring;
- doskonalenie i rozwijanie metodyk studiów diagnostycznych, określających aktualny stan monitorowanych geoekosystemów, wraz z inwentaryzacją procesów o charakterze ponadprzeciętnym i katastrofalnym;
- wskazanie kierunków zagrożeń monitorowanych ekosystemów dla celów planistyczno-decyzyjnych;
- doskonalenie i rozwijanie studiów modelowych monitorowanych geoekosystemów, przy przyjęciu różnych scenariuszy ich rozwoju;
- upowszechnianie wyników monitoringu dla celów ochrony środowiska przyrodniczego w skali krajowej i międzynarodowej (konferencje, publikacje);
- upowszechnienie wyników monitoringu dla celów naukowych, dydaktycznych, edukacyjnych, a także dla celów zagospodarowania przestrzennego jednostek administracyjnych.

W celu zabezpieczenia rozwoju organizacyjnego i merytorycznego monitoringu geoekosystemów w ramach programu ZMŚP, zarządzeniem Rektora Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, przy współudziale Głównego Inspektora Ochrony Środowiska, powołane zostało Centrum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego jako jednostka uczelniana (1.06.2010 r.).

Przedstawiamy kolejną edycję (Kostrzewski, Majewski 2021) wytycznych do realizacji programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, która uwzględnia wyniki badań nauk o środowisku przyrodniczym, jak również wymogi monitoringu europejskiego Integrated Monitoring.

W podsumowaniu należy podkreślić, że sprawą pierwszorzędnej wagi jest przyjęcie prawidłowości, iż monitorowane geoekosystemy zlewni rzecznych i jeziornych reprezentują różne pod względem taksonomicznym, a także krajobrazowym jednostki przestrzeni przyrodniczej (geograficznej), uznawane za reprezentatywne dla struktury krajobrazowej Polski. Rozpoznanie w oparciu o badania terenowe struktury wytypowanych geoekosystemów do monitoringu środowiska przyrodniczego jest podstawą organizacji systemów pomiarowych (transekty, profile, stanowiska, powierzchnie).

Przedstawione wytyczne do realizacji programu ZMŚP w zasięgu wytypowanych geoekosystemów rzecznych i jeziornych mają charakter otwarty, będą weryfikowane wraz z postępem nauk o środowisku przyrodniczym, z większym zwróceniem uwagi na nauki społeczne i ekonomiczne.

Literatura

Kostrzewski A. (red.), 1991. Koncepcja programu: Monitoring obiegu energii i materii – kompleksowy monitoring środowiska przyrodniczego w podstawowych typach geoekosystemów Polski. Kom. Nauk. „Człowiek i Środowisko", Poznań.

Kostrzewski A., 1993a. Geoekosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna. W: A. Kostrzewski (red.), Geoekosystem obszarów nizinnych. Ossolineum, Wrocław. Kom. Nauk. „Człowiek i Środowisko", Zesz. Nauk., 6: 11–17.

Kostrzewski A., 1993b. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego: stan prac, etapy realizacji. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego w Polsce. Wybrane problemy. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 11–18.

Kostrzewski A., 1993c. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – monitoringiem funkcjonowania geoekosystemów. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Monitoring geoekosystemów. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 11–20.

Kostrzewski A., 1995a. Stan i perspektywy rozwoju Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Polsce. W: A. Kowalkowski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 9–15.

Kostrzewski A., 1995b. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – cele, założenia, zadania. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Propozycje programowe. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 7–22.

Kostrzewski A., 1996. Pożądany model funkcjonowania monitoringu środowiska przyrodniczego w Polsce. W: A. Kostrzewski, L. Pawłowski (red.), Główne problemy monitoringu w Polsce. Kom. Nauk. „Człowiek i Środowisko", Zesz. Nauk., 16: 7–27.

Kostrzewski A., 1997. ZMŚP i jego znaczenie w rozpoznaniu i ochronie struktury krajobrazowej Polski. W: A. Kostrzewski, L. Pawłowski (red.), Główne problemy monitoringu w Polsce. Zeszyty Naukowe, Lublin, 20.

Kostrzewski A., 2011. Znaczenie programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w określeniu aktualnego stanu i przemian krajobrazu Polski. W: A. Kostrzewski, M. Samołyk (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie geoekosystemów w warunkach zmian użytkowania terenu i narastającej antropopresji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, 27: 11–16.

Kostrzewski A., 2016. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – powstanie i rozwój, znaczenie w rozpoznawaniu i ocena współczesnych przemian krajobrazowych. W: A. Kostrzewski, J. Szpikowski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie, tendencje rozwoju, zagrożenia i ochrona środowiska przyrodniczego Polski. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Storkowo: 11–18.

Kostrzewski A., 2020. Indywidualność przedmiotowa Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – program realizacji na lata 2021–2025. W: A. Olszewski, A. Andrzejewska (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Aktualny stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemów jako cecha wskaźnikowa zmian klimatu. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 9–21.

Kostrzewski A., Majewski M. (red.), 2018. Stan i przemiany środowiska przyrodniczego Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A., 1995. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji i system pomiarowy, wybrane metody badań. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa: 1–255.

Kostrzewski A., Stach A., 1992. Stacje terenowe monitoringu środowiska przyrodniczego w Polsce: lokalizacja, profil, zakres badań. W: Stacje terenowe Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Polsce: 3–11.

PIOŚ, 1992. Program Państwowego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Strategiczny program PMŚ na lata 2020–2025, 2020. GIOŚ, Warszawa.

Ustawa z dnia 20 lipca 1991 r. o Inspekcji Ochrony Środowiska (Dz.U. nr 77, poz. 35).

2. Założenia metodologiczne i metodyczne Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Andrzej Kostrzewski, Mikołaj Majewski, Józef Szpikowski

Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

2.1. Geoekosystem zlewni rzecznej i jeziornej

Współczesne zmiany klimatu, powiązane z nimi zmiany użytkowania terenu oraz różne przejawy działalności człowieka sprawiają, że następuje ciągły w czasie i zróżnicowany przestrzennie proces rozwoju i przemian przestrzeni przyrodniczej. Powyższe zmiany dotyczą różnych elementów środowiska przyrodniczego (różnych jego sfer), a w konsekwencji doprowadzają do wyraźnych zmian w funkcjonowaniu geoekosystemów, co znajduje odzwierciedlenie w zachodzących przemianach krajobrazowych (Kostrzewski 1996a, 1997, 2006, 2012, 2016, 2020, Kostrzewski, Szpikowski 2012). Takie podejście badawcze zgodne jest z założeniami nauk empirycznych – zakłada ciągły w czasie, zróżnicowany przestrzennie proces przemian w środowisku przyrodniczym. Koncepcja Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego uwzględnia w procesie badawczym zarówno podejście analityczne, które dotyczy badania poszczególnych elementów środowiska przyrodniczego, jak i kompleksowe (holistyczne), w którym rozpoznajemy obieg energii i przepływ materii w wytypowanych jednostkach przestrzennych – geoekosystemach.

Pod względem metodologicznym koncepcja Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego nawiązuje do wymogów koncepcji funkcjonowania systemu Bertalanffyego (Bertallanffy 1984, Kostrzewski 1986, 1993a, b, c, 1994, 1995a, b, 1996a, 2006, 2011, 2020). Metodologia badań funkcjonowania systemu upowszechniona została w naukach o Ziemi przez geomorfologów amerykańskich (Chorley 1962, Chorley, Kennedy 1971).

Podstawy teoretyczne dotyczące przedmiotu badań organizacji monitoringu w środowisku przyrodniczym, standaryzacja metod w celu zbierania danych pomiarowych, ich weryfikacja, tworzenie profesjonalnych baz danych, założenia studiów diagnostycznych i prognostycznych – wypracowuje Monitoring Środowiska Przyrodniczego, który wyodrębnia się jako kierunek badań środowiskowych (Kostrzewski 2018, 2020). Przedmiotem badań Monitoringu Środowiska

Przyrodniczego jest środowisko przyrodnicze wydzielonych jednostek przestrzeni przyrodniczej, traktowanych jako system, o zróżnicowanej randze taksonomicznej i strukturze wewnętrznej, które umownie nazywamy geoekosystemami (Kostrzewski 1990, 1991, 1993a, b, c, 2020).

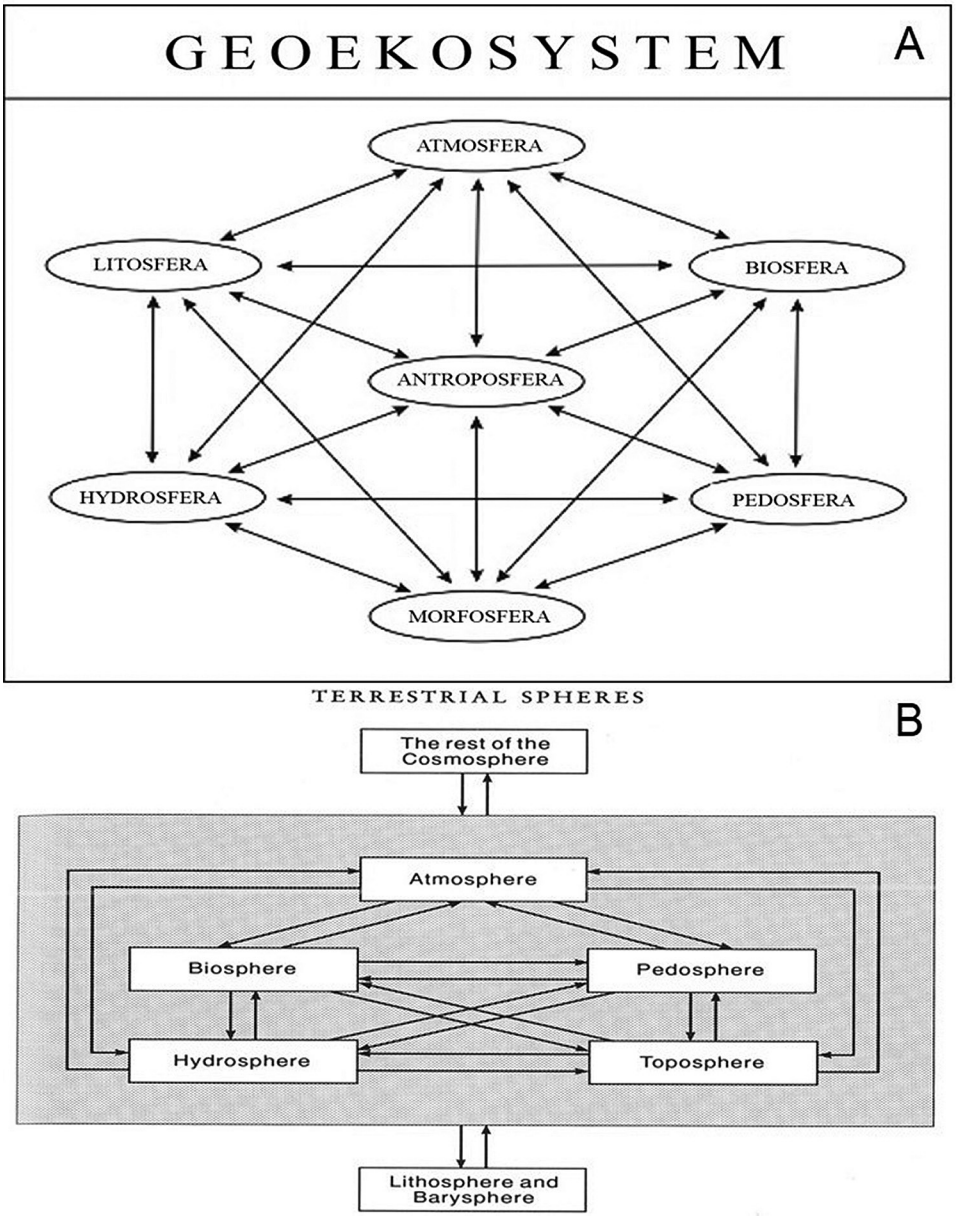
Geoekosystem jest więc jednostką przestrzeni przyrodniczej (ryc. 2.1.1), którego funkcjonowanie obejmuje rozpoznanie związków i relacji, jakie zachodzą między jego elementami, subsystemami i systemami sąsiednimi. W procesie badawczym rozpoznajemy strukturę wewnętrzną oraz mechanizm funkcjonowania monitorowanych geoekosystemów. W zasięgu analizowanych geoekosystemów zachodzi nieskończona ilość związków, zależności między elementami, subsystemami i sąsiednimi geoekosystemami, które określamy jakościowo i ilościowo. Dominujące związki w rozwoju geoekosystemów określają ich przemiany krajobrazowe, a w konsekwencji decydują o typie geoekosystemu (Kostrzewski 2020). Najbardziej reprezentatywnymi geoekosystemami w umiarkowanej strefie klimatycznej są geoekosystemy rzeczne i jeziorne.

Charakter geoekosystemu, jego indywidualność kształtuje się w procesie jego rozwoju, na który wpływ mają następujące uwarunkowania (Kostrzewski 2020):

- położenie geograficzne,
- rzeźba terenu, budowa geologiczna, litologia utworów powierzchniowych,
- warunki pogodowe, dominujące typy topoklimatu,
- hydrologia, wody powierzchniowe i podziemne,
- typy użytkowania terenu i jego zmiany,
- georóżnorodność i bioróżnorodność obszaru,
- różne przejawy antropopresji,
- funkcje w aktualnej strukturze krajobrazowej regionu, kraju.

Podstawowym uwarunkowaniem funkcjonowania geoekosystemu jest dopływ energii słonecznej, która zamieniana na inne rodzaje energii, różnicowana w czasie i przestrzeni uruchamia obiegi elementarne (Kostrzewski 1993a, b, c). Powstaje łańcuch przemian energetycznych geoekosystemu, który określa tempo jego rozwoju. Tempo przemian energetycznych zależy od struktury wewnętrznej geoekosystemu, właściwości poszczególnych elementów i wielkości geoekosystemu. Monitorowane geoekosystemy na terenie Polski, w zależności od położenia, charakteryzują się zróżnicowanym natężeniem i przebiegiem łańcucha przemian energetycznych. Ważną właściwością geoekosystemu jest materia, która włączona zostaje do łańcucha przemian energetycznych. Łańcuch przemian energetycznych i materialnych doprowadza do powstania nowych wartości, które kodowane są w pamięci geoekosystemu w formie informacji (np. energia wiatru, transportowany piasek, efekt wydma). Łańcuch przemian energetycznych i materialnych nazywamy często łańcuchem przemian krajobrazowych geoekosystemu. Informacja zakodowana w pamięci geoekosystemu ma zróżnicowany czas trwania, co zależy od odporności geoekosystemu na bodźce zewnętrzne (np. gwałtowny opad, huragan) i wewnętrzne (np. obieg wody w litosferze, procesy tektoniczne, wulkaniczne).

Ważnym zadaniem w organizacji monitoringu jest dobór metod badawczych do określenia odporności geoekosystemu oraz kolejnych właściwości geoekosystemu – czasu relaksacji, aktualnego stanu geoekosystemów, obszaru stanów



Ryc. 2.1.1. Ideogram zlewni rzecznej i jeziornej, A – Kostrzewski (1993a), B – Huggett (1995)

dozwolonych, obszaru stabilności i historii geoekosystemu. Wszystkie wymienione właściwości geoekosystemu możemy opisać jakościowo i ilościowo.

W monitoringu środowiska przyrodniczego określamy aktualny stan geoekosystemu, czyli stan poszczególnych elementów środowiska przyrodniczego

w momencie obserwacji. Określenie jakościowe i ilościowe aktualnego stanu geoekosystemu jest podstawą poprawnej diagnozy stanu środowiska dla różnych potrzeb.

Istotną cechą funkcjonowania geoekosystemu są progi – określone uwarunkowania środowiska przyrodniczego, których przekroczenie może być korzystne lub niekorzystne dla stanu i funkcjonowania geoekosystemu (np. pełnokorytowe stany wody w rzece, przemarznięcie gruntu, poziom zwierciadła wód gruntowych). Rozpoznanie w planowych monitoringach mechanizmu funkcjonowania geoekosystemu pozwala na ilościowe wyznaczanie wartości progowych.

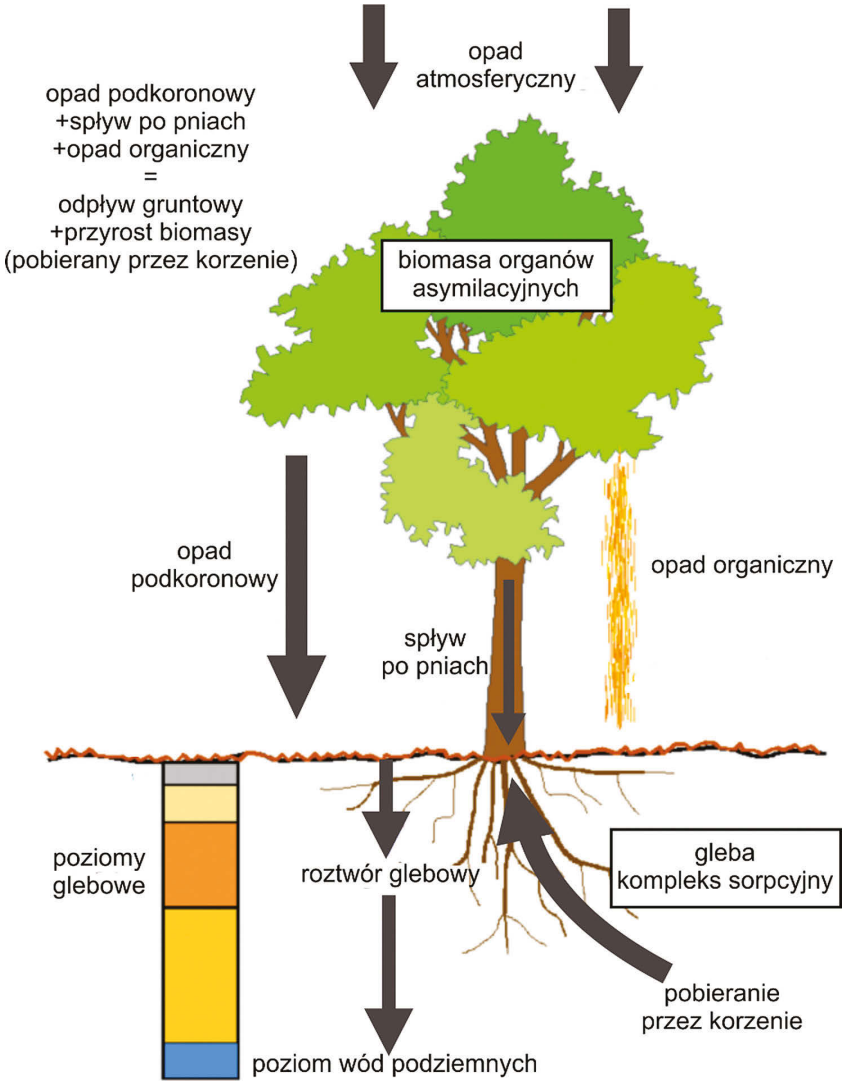
Każdy geoekosystem ma swój obszar stanów dozwolonych, w zasięgu którego rozwija się łańcuch przemian energetycznych i materialnych, związany z odpowiednimi stanami geoekosystemu. Przekroczenie obszaru stanów dozwolonych oznacza katastrofę w geoekosystemie (np. powódź, huragan), dochodzi do częściowego, a nawet całkowitego zniszczenia struktury wewnętrznej geoekosystemu. Rozpoznanie obszaru stanów dozwolonych monitorowanych geoekosystemów jest ważne zarówno z teoretycznego, jak i aplikacyjnego punktu widzenia. Uzyskane informacje dotyczące obszaru stanów dozwolonych geoekosystemów, a przede wszystkim stanu, w którym następuje jego przekroczenie, wykorzystywane są w monitoringu ostrzegawczym.

W zasięgu obszaru stanów dozwolonych mieści się obszar stabilności geoekosystemu. Stabilność oznacza stałość w czasie określonych stanów, przez które przechodzi geoekosystem podczas swojego rozwoju (np. długo utrzymujące są niskie stany wód w rzekach czy temperatura gruntu poniżej 0°C). Stabilność może być stanem korzystnym i niekorzystnym dla geoekosystemów. Geoekosystem można wyprowadzić ze stanu stabilności przez bodźce naturalne (np. ulewny deszcz czy zmiana temperatury powietrza) lub bodźce sztuczne (np. budowa zapór, wałów przeciwpowodziowych).

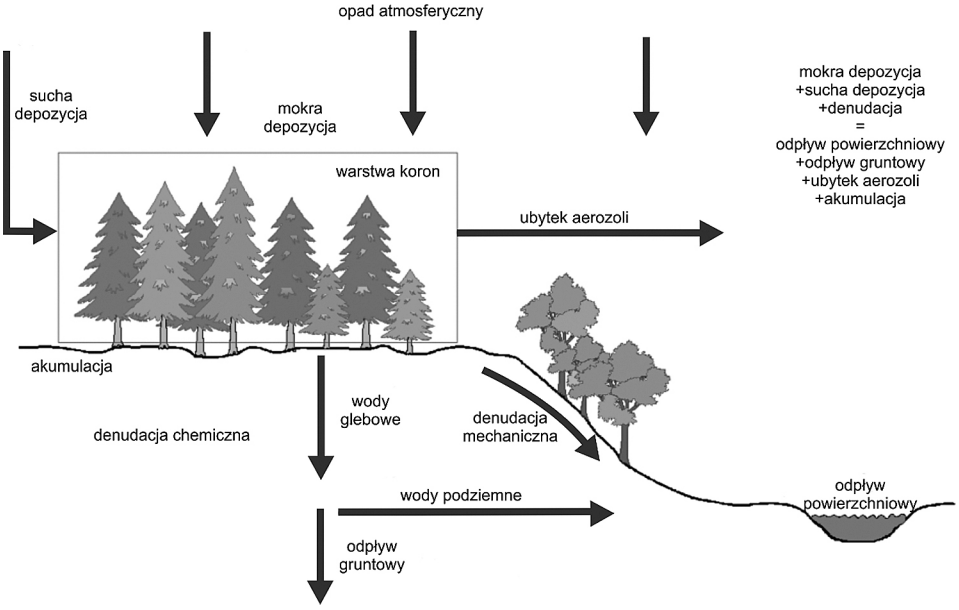
Zebrane informacje dotyczące stanu i różnych przejawów funkcjonowania geoekosystemu stanowią podstawę przedstawiania historii rozwoju geoekosystemu. Historia rozwoju geoekosystemu jest ważną jego właściwością – obejmuje przeszłość, teraźniejszość i przyszłość (Kostrzewski 2018, Tylkowski i in. 2018). Monitoring Środowiska Przyrodniczego realizuje m.in. funkcję teoretyczno-wyjaśniającą, w związku z tym stosując odpowiednie metody, określamy rozwój geoekosystemu w przeszłości, przedstawiamy opis aktualnego stanu geoekosystemu i jego przemian, a w oparciu o wybrane modele, przyjęte scenariusze przedstawiamy prognozę rozwoju geoekosystemu. Podstawową prawidłowością w historii geoekosystemu jest cecha ekwifinalistyczna (Bertalanffy 1984, Kostrzewski 1993a, 2018, 2020). Geoekosystemy mają różną historię rozwoju, w zależności od ich położenia geograficznego, ale zawsze końcowym efektem rozwoju geoekosystemu jest prawierównia (peneplena). Prawidłowość ta dotyczy także geoekosystemów umiarkowanej strefy klimatycznej.

Geoekosystem zlewni rzecznej i jeziornej jest jednostką przestrzeni przyrodniczej, która umożliwia całościowe rozpoznanie obiegu energii i przepływu materii, pozwala na ujęcie bilansowe. W celu rozpoznania stanu i przemian geoekosystemu w czasie i w przestrzeni podstawowe znaczenie ma określenie struktury

wewnętrznej geoekosystemu, a przede wszystkim źródeł dostawy, dróg krążenia i odpływu materii (Kostrzewski i in. 1995). Prezentowany schemat (ryc. 2.1.2) może być podstawą zastosowania różnych modeli o charakterze bilansowym, z wykorzystaniem dla zlewni rzecznych o różnym położeniu, strukturze wewnętrznej i użytkowaniu. Monitoring obiegu energii i przepływu materii w geoekosystemie zlewni rzecznej organizowany jest w różnych skalach przestrzennych – punktowo (ryc. 2.1.2), w zasięgu kateny stokowej (ryc. 2.1.3) i zlewni cząstkowych.



Ryc. 2.1.2. Uproszczony model obiegu materii w profilu pionowym ekosystemu leśnego (Kostrzewski i in. 1995)



Ryc. 2.1.3. Uproszczony model obiegu materii w zasięgu kateny stokowej (Kostrzewski i in. 1995)

Biorąc pod uwagę indywidualność i zróżnicowanie monitorowanych geoekosystemów zlewni rzecznych i jeziornych, w organizacji monitoringu należy zwrócić uwagę na dobór metod badawczych (terenowych i laboratoryjnych), które winny umożliwić rozpoznanie następujących podstawowych cech funkcjonowania i przemian geoekosystemów (Kostrzewski i in. 1995):

- uwarunkowania funkcjonowania geoekosystemu,
- aktualny stan geoekosystemu,
- źródła dostawy energii i materii do geoekosystemu,
- obieg wody na różnych poziomach (atmosfera, roślinność, powierzchnia terenu, gleba, zwierciadło wód gruntowych, koryto cieku),
- obieg części rozpuszczonych i stałych (w tym bioklastów),
- miejsca i charakter odpływu energii i materii w geoekosystemie,
- bilans energetyczny i materialny geoekosystemu,
- studia modelowe, przy przyjęciu różnych scenariuszy rozwoju geoekosystemu.

Przedstawione założenia metodologiczne i metodyczne geoekosystemu zlewni rzecznej (jeziornej) stanowią podstawę organizacji monitoringu środowiska przyrodniczego, a w konsekwencji realizacji przyjętego programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego.

2.2. Zakres pomiarowy, program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

„Strategiczny program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2020–2025" przyjmuje, że Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego jest częścią podsystemu monitoringu przyrody (GIOŚ 2020). W programie podkreślono, że celem działań prowadzonych w ramach PMŚ jest dostarczenie odpowiednim organom informacji niezbędnych do zarządzania środowiskiem oraz zapewnienie społeczeństwu dostępu do informacji o stanie środowiska. Podkreślono również wagę inicjatywy na rzecz programu Natura 2000. Powyższe założenia stanowią podstawę realizacji programu ZMŚP. Należy podkreślić, że koncepcja metodologiczna i metodyczna ZMŚP (Kostrzewski 1991, 1993a, 1995b, 1996b, 1997, 2018, 2020, Kostrzewski i in. 1995, Kostrzewski, Majewski 2018) indywidualizuje przedmiot badań ZMŚP, który wyraźnie różni się od przedmiotu badań monitoringów specjalistycznych dotyczących poszczególnych komponentów środowiska PMŚ.

Realizacja podstawowych celów metodologicznych i metodycznych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, obejmujących: bilans obiegu energii i przepływu materii w różnych skalach przestrzennych i czasowych, bioindykację oraz monitoring zmian geo- i bioróżnorodności wymaga prowadzenia szerokiego zakresu obserwacji i pomiarów w obrębie abiotycznych i biotycznych składowych geoekosystemów zlewni rzecznych i jeziornych (Kostrzewski i in. 1995).

Program pomiarowy ZMŚP był kilkakrotnie modyfikowany, zgodnie z postępem metodycznym nauk o środowisku (Kostrzewski i in. 1995, 2006). Podstawowa część programu realizowana jest od początku funkcjonowania ZMŚP, co umożliwia otrzymywanie wieloletnich serii obserwacyjnych.

Aktualny program ZMŚP pozwala na realizację podstawowych celów ZMŚP (Kostrzewski 2016, 2017, 2018, 2020, Kostrzewski, Majewski 2018):

- określenie prawidłowości obiegu energii i przepływu materii w monitorowanych geoekosystemach jako podstawy rozpoznania mechanizmów ich funkcjonowania i typologii;
- określenie tempa i kierunku przemian krajobrazowych monitorowanych geoekosystemów Polski;
- przedstawienie diagnozy stanu monitorowanych geoekosystemów jako podstawy oceny stanu środowiska w zakresie form zagrożeń i kierunków ochrony;
- określenie jakościowe i ilościowe różnych przejawów (stanów) funkcjonowania geoekosystemów (np. wezbrania, susze);
- określenie wartości progowych w funkcjonowaniu geoekosystemów (prawdopodobieństwo zdarzeń o charakterze ekstremalnym i katastrofalnym) jako podstawy monitoringu ostrzegawczego;
- przedstawienie i ocena stanu zasobów przyrodniczych monitorowanych geoekosystemów (kierunki zagrożeń, formy ochrony);
- przedstawienie scenariuszy rozwoju monitorowanych geoekosystemów z uwzględnieniem zmian klimatu, wód powierzchniowych i podziemnych oraz różnych form antropopresji (stadia prognostyczne);

- upowszechnianie wskaźników o funkcjonowaniu współczesnych geoekosystemów Polski w raportach rocznych i publikacjach.

Program ZMŚP opracowany na lata 2021–2023 obejmuje 17 programów pomiarowych, w ramach których monitorowanych jest 208 parametrów obligatoryjnych oraz 142 parametry rozszerzone. Ponadto wykonywane są 4 programy analityczne (tab. 2.2.1). Pełen zakres pomiarowy realizowany jest w Stacjach Bazowych, w których występują określone w programie ZMŚP komponenty środowiska przyrodniczego. W zlewni, w której nie występuje zwarta powierzchnia leśna

Tabela 2.2.1. Program ZMŚP na lata 2021–2023

Kod programu	Program	Częstość realizacji	Liczba parametrów	
			oblig.	rozsz.
PROGRAMY POMIAROWE				
A1	Meteorologia	Co roku	15	7
B1	Zanieczyszczenie powietrza	Co roku	2	8
C1	Chemizm opadów atmosferycznych	Co roku	11	11
C2	Chemizm opadu podkoronowego	Co roku	12	12
C3	Chemizm spływu po pniach	Co roku	12	12
D1	Metale ciężkie i siarka w porostach	Co roku	8	0
D2	Metale ciężkie i siarka w mchach	Co roku	8	0
E1	Gleby	Co roku; 1/10 lat	20	13
F1	Chemizm roztworów glebowych	Co roku	12	14
F2	Wody podziemne	Co roku	14	14
G2	Opad organiczny	Co roku	5	12
H1	Wody powierzchniowe – rzeki	Co roku	20	13
H2	Wody powierzchniowe – jeziora	Co roku	16	13
I1	Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego	1/3 lata	22	0
J2	Struktura i dynamika szaty roślinnej	1/3 lata	21	5
J3	Gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny	Co roku; 1/2 lata	8	2
K1	Uszkodzenia drzew i drzewostanów	Co roku	2	6
PROGRAMY ANALITYCZNE				
	Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi	1/3 lata		
	Świadczenia geoekosystemów	1/3 lata		
	Modelowanie zmian bilansu wodnego i biogeochemicznego dla zlewni reprezentatywnych ZMŚP	1/3 lata		
	Funkcjonowanie geoekosystemów zlewni badawczych ZMŚP w warunkach zmian klimatu i narastającej antropopresji (z uwzględnieniem zjawisk ekstremalnych)	Co roku		

oblig. – parametry z programu obligatoryjnego, rozsz. – parametry z programu rozszerzonego

(np. zlewnia Strugi Toruńskiej, Stacja Bazowa ZMŚP Pojezierze Chełmińskie), nie wykonuje się programów: chemizm opadu podkoronowego, chemizm spływu po pniach, opad organiczny oraz uszkodzenia drzew i drzewostanów. W przypadku braku występowania odpowiedniego cieku (np. Stacja Bazowa Puszcza Borecka) bądź jeziora (np. Stacja Bazowa Karkonosze) nie są wykonywane odpowiednio programy: wody powierzchniowe – rzeki oraz wody powierzchniowe – jeziora.

Większość programów pomiarowych ZMŚP jest realizowana corocznie przez poszczególne Stacje Bazowe. Część programów, wykonywanych przez ekspertów ZMŚP, realizowanych jest w dłuższych interwałach czasowych. Biorąc pod uwagę naturę monitorowanego komponentu oraz jego zmienność wieloletnią, przyjęto różne skale czasowe obserwacji. Program pomiarowy E1 (Gleby) jest realizowany raz na 10 lat, a programy pomiarowe I1 (Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego), J2 (Struktura i dynamika szaty roślinnej) oraz program analityczny: Świadczenia geoekosystemów realizowane są w trzyletnich interwałach czasowych. Co trzy lata Stacje Bazowe wykonują również (we własnym zakresie) pozostałe programy analityczne: Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi oraz Modelowanie zmian bilansu wodnego i biogeochemicznego dla zlewni reprezentatywnych ZMŚP.

Poza podstawowym programem badawczo-pomiarowym ZMŚP, Stacje Bazowe realizują także programy specjalistyczne, których wybór i zakres wynika ze specyfiki położenia zlewni, a przede wszystkim indywidualności poszczególnych elementów środowiska fizycznogeograficznego. Programy specjalistyczne w istotny sposób wzbogacają rozpoznanie różnych przejawów i specyfiki mechanizmu funkcjonowania środowiska przyrodniczego monitorowanych geoekosystemów zlewni rzecznych i jeziornych (tab. 2.2.2).

Tabela 2.2.2. Programy specjalistyczne realizowane w Stacjach Bazowych ZMŚP w latach 2020–2023

Stacja Bazowa	Program specjalistyczny
Wolin	Morfodynamika wybrzeża klifowego
Parsęta	Erozja wodna gleb
Puszcza Borecka	Pomiar stanu zanieczyszczenia atmosfery metalami ciężkimi i WWA
Wigry	Monitoring zmian poziomu wód gruntowych w podmokłych ekosystemach leśnych
Pojezierze Chełmińskie	Bilans promieniowania Monitorowanie stanu liczebnego populacji lęgowych dymówki *Hirundo rustica* L. i oknówki *Delichon urbica* (L.)
Poznań-Morasko	Monitoring migracji zanieczyszczeń w wodach podziemnych
Kampinos	Monitoring zimujących nietoperzy i bociana białego
Łysogóry	Funkcjonowanie geoekosystemu w warunkach alkalicznej imisji
Roztocze	Monitoring ptaków Polski: monitoring flagowych gatunków ptaków, monitoring lęgowych sów leśnych, monitoring rzadkich dzięciołów, monitoring pospolitych ptaków lęgowych
Beskid Niski	Erozja wodna gleb
Karkonosze	Właściwości fizyczne i chemizm pokrywy śnieżnej

Przedstawiony program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, realizowany przez Stacje Bazowe w obrębie uznanych za reprezentatywne zlewni rzecznych i jeziornych, dostarcza porównywalne, wieloletnie serie obserwacyjne. Zweryfikowane dane pomiarowe, jako efekt realizacji 17 programów, stanowią podstawę oceny stanu środowiska przyrodniczego monitorowanych zlewni, umożliwiają określenie skali przemian środowiskowych, jak również wykorzystywane są w studiach prognostycznych. Należy podkreślić, że dane pomiarowe z realizacji programu ZMŚP są wykorzystywane zarówno w badaniach naukowych, jak w dydaktyce i studiach planistycznych oraz innych zadaniach o charakterze aplikacyjnym.

Program ZMŚP jest programem otwartym, podlega zmianom i uzupełnieniom w miarę postępu nauk o środowisku przyrodniczym.

2.3. Sieć Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Podstawą realizacji programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego są Stacje Bazowe, zlokalizowane w zasięgu monitorowanej zlewni rzecznej lub jeziornej. Stacja Bazowa ZMŚP obejmuje budynek Stacji (lub wydzielone pomieszczenia) wraz z zapleczem laboratoryjnym i dobrze zorganizowanym systemem pomiarowym w zasięgu zlewni rzecznej lub jeziornej. Stacja posiada akt powołania przez Głównego Inspektora Ochrony Środowiska, przy współudziale Koordynatora Merytorycznego ZMŚP oraz kierownika jednostki, przy której jest afiliowana. Obowiązkiem Stacji Bazowej jest posiadanie standardowej tablicy informacyjnej oraz regulaminu.

Prace dotyczące organizacji sieci Stacji Bazowych ZMŚP rozpoczęto w 1986 r., w ramach Komitetu Naukowego „Człowiek i Środowisko" przy Prezydium PAN (prof. prof. Kostrzewski, Kozłowski, Starkel). Podstawą doboru Stacji była szczegółowa analiza Stacji Terenowych w Polsce, w oparciu o sporządzoną specjalną ankietę (rozesłaną do 120 Stacji; odpowiedzi dostarczyło 87 Stacji) i bezpośrednie wizyty w wybranych Stacjach Terenowych (Kostrzewski 1991, 1996a, b, Kostrzewski, Stach 1992).

Podstawowe założenia wyboru Stacji Bazowych ZMŚP były następujące:

- położenie geograficzne, typ krajobrazu,
- budowa geologiczna i rzeźba terenu,
- podstawowe ekosystemy,
- uwarunkowania hydro-klimatyczne,
- stopień transformacji antropogenicznej.
- system pomiarowy terenowy i laboratoryjny,
- zabezpieczenie funkcjonowania Stacji (budynek, wydzielone pomieszczenia, zespół pracowników itd.).

W zarządzeniu z dnia 12.07.1992 r. Główny Inspektor Ochrony Środowiska ustanowił 12 Stacji Bazowych ZMŚP (planowanych było 16 Stacji). Od 1993 r. system pomiarowy uruchomiony został na 7 Stacjach Bazowych, które wykazały

gotowość do realizacji programu podstawowego. W późniejszych latach kolejne Stacje zgłaszały gotowość przystąpienia do sieci ZMŚP. Aktualnie program ZMŚP realizowany jest na 11 Stacjach Bazowych (ryc. 2.3.1) (Kostrzewski 2018, Kostrzewski, Majewski 2018).

Ryc. 2.3.1. Rozmieszczenie Stacji Bazowych ZMŚP na tle podziału administracyjnego kraju

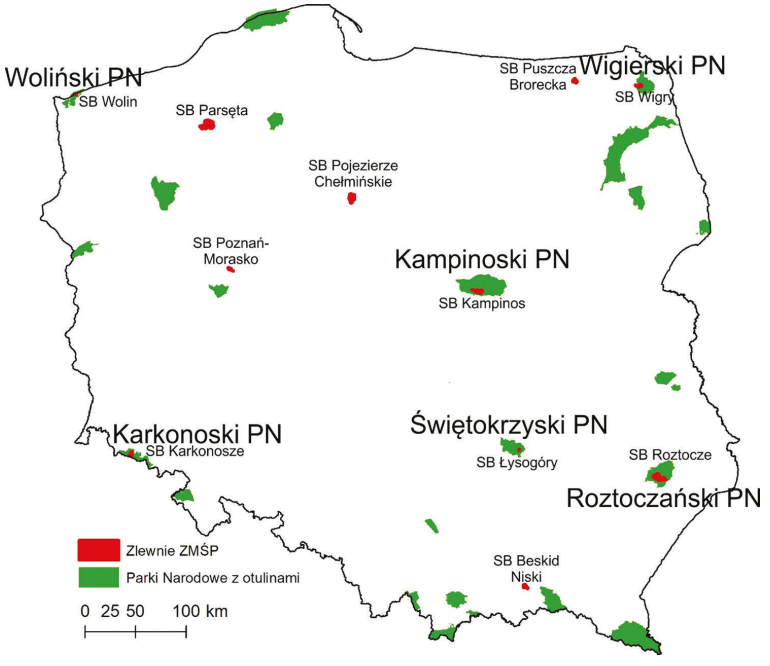
Koncepcja rozmieszczenia Stacji Bazowych ZMŚP nawiązuje do struktury krajobrazowej Polski (tab. 2.3.1), a także układu regionów fizycznogeograficznych (ryc. 2.3.2). Chodzi przede wszystkim o realizację założenia, aby Stacje Bazowe zlokalizowane były we wszystkich strefach krajobrazowych i odpowiednich regionach fizycznogeograficznych, a także w każdym województwie. Dobrą lokalizacją Stacji Bazowych ZMŚP są parki narodowe (ryc. 2.3.4). Docelowo na terenie każdego parku narodowego winna być zlokalizowana Stacja Bazowa ZMŚP, działająca też na rzecz ochrony zasobów przyrodniczych danego parku. Należy podkreślić, że parki narodowe zabezpieczają funkcjonowanie Stacji Bazowych ZMŚP w zakresie pozyskiwania wieloletnich serii pomiarowych środowiska przyrodniczego. Rozmieszczenie Stacji Bazowych w Polsce (ryc. 2.3.1) umożliwia rozpoznanie i określenie zmian i zmienności funkcjonowania monitorowanych geokosystemów zlewni rzecznych i jeziornych w transekcie południkowym i trzech transektach równoleżnikowych. Aktualnie do sieci Stacji Bazowych ZMŚP włączane są również geoekosystemy o różnych przejawach antropopresji, w odróżnieniu od koncepcji wstępnej (Stacje Bazowe położone były poza obszarami pozostającymi pod wpływem silnej antropopresji, dotyczącej np. zanieczyszczeń, np. SB Puszcza Borecka, SB Wigry, SB Roztocze).

Tabela 2.3.1. Stacje Bazowe ZMŚP

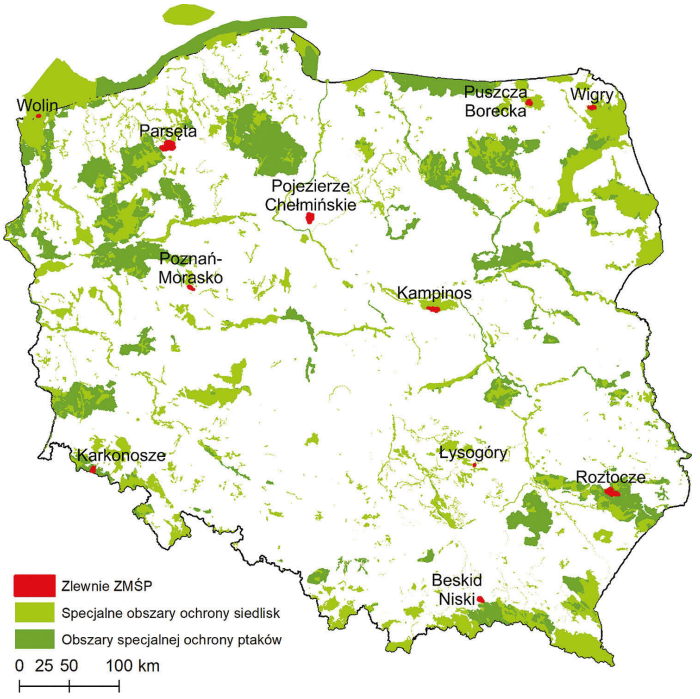
Stacja Bazowa	Rok rozpoczęcia pomiarów	Strefa krajobrazowa	Mezoregion (Kondracki 2000)	Województwo
Wolin	2010	Niziny nadmorskie	Uznam i Wolin	zachodniopomorskie
Parsęta	1994	Pojezierza	Pojezierze Drawskie	zachodniopomorskie
Puszcza Borecka	1994	Pojezierza	Pojezierze Ełckie	warmińsko-mazurskie
Wigry	1994	Pojezierza	Pojezierze Wschodniosuwalskie, Równina Augustowska	podlaskie
Pojezierze Chełmińskie	1994	Pojezierza	Pojezierze Chełmińskie	kujawsko-pomorskie
Poznań-Morasko	2016	Pojezierza	Pojezierze Poznańskie, Poznański Przełom Warty	wielkopolskie
Kampinos	1994	Niziny środkowopolskie	Kotlina Warszawska	mazowieckie
Łysogóry	1994	Wyżyny	Góry Świętokrzyskie	świętokrzyskie
Roztocze	2012	Wyżyny	Roztocze Zachodnie, Roztocze Środkowe	lubelskie
Beskid Niski	1994	Góry średnie	Beskid Niski	małopolskie
Karkonosze	2016	Góry średnie	Karkonosze	dolnośląskie

Ryc. 2.3.2. Rozmieszczenie Stacji Bazowych ZMŚP w makroregionach fizycznogeograficznych (Kondracki 2000, zmienione)

Ryc. 2.3.3. Rozmieszczenie Stacji Bazowych na tle stref krajobrazowych (Kostrzewski i in. 2014, zmienione)



Ryc. 2.3.4. Stacje Bazowe na tle parków narodowych



Ryc. 2.3.5. Stacje Bazowe na tle sieci Natura 2000

Literatura

Bertallanffy L., 1984. Ogólna teoria systemów. Podstawy, rozwój, zastosowania. PWN, Warszawa.

Chorley R.J., 1962. Geomorphology and general system theory. US. Geol. SUrv. Prof. Pap., 500. B.

Chorley R.J., Kennedy B.A., 1981. Physical geography, a system approach. Prentice Hall, London.

Huggett R.J., 1995. Geoecology: an evolutionary approach. London, New York.

Kondracki J., 2000. Geografia regionalna Polski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Kostrzewski A. (red.), 1990. Geoekosystem obszarów nizinnych. Ogólnopolskie seminarium. Instytut Badań Czwartorzędu UAM, Poznań.

Kostrzewski A. (red.), 1991. Koncepcja programu: Monitoring obiegu energii i materii – kompleksowy monitoring środowiska przyrodniczego w podstawowych typach geoekosystemów Polski. Kom. Nauk. „Człowiek i Środowisko", Poznań.

Kostrzewski A., 1986. Zastosowanie teorii funkcjonowania geosystemu do badań współczesnych środowisk morfogenetycznych obszarów nizinnych Polski Północno-Zachodniej. Spraw. PTPN, 103: 26–28.

Kostrzewski A., 1993a. Geoekosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna. W: A. Kostrzewski (red.), Geoekosystem obszarów nizinnych. Ossolineum, Wrocław. Kom. Nauk. „Człowiek i Środowisko", Zesz. Nauk., 6: 11–17.

Kostrzewski A., 1993b. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego: stan prac, etapy realizacji. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego w Polsce. Wybrane problemy. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 11–18.

Kostrzewski A., 1993c. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – monitoringiem funkcjonowania geoekosystemów. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Monitoring geoekosystemów. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 11–20.

Kostrzewski A., 1994. Organizacja i założenia Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego oraz jego znaczenie w systemie ochrony przyrody w Polsce. W: R. Siwecki (red.), Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. PAN, Kórnik.

Kostrzewski A., 1995a. Stan i perspektywy rozwoju Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Polsce. W: A. Kowalkowski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 9–15.

Kostrzewski A., 1995b. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – cele, założenia, zadania. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Propozycje programowe. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 7–22.

Kostrzewski A., 1996a. Pożądany model funkcjonowania monitoringu środowiska przyrodniczego w Polsce. W: A. Kostrzewski, L. Pawłowski (red.), Główne problemy monitoringu w Polsce. Kom. Nauk. „Człowiek i Środowisko", Zesz. Nauk., 16: 7–27.

Kostrzewski A., 1996b. Znaczenie programu ZMŚP dla rejestracji przemian i zachowania struktury krajobrazowej Polski. W: R. Soja, P. Prokop (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Monitoring Geoekosystemów Górskich. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 9–21.

Kostrzewski A., 1997. ZMŚP i jego znaczenie w rozpoznaniu i ochronie struktury krajobrazowej Polski. W: A. Kostrzewski, L. Pawłowski (red.), Główne problemy monitoringu w Polsce. Zeszyty Naukowe, Lublin, 20.

Kostrzewski A., 2006. Założenia metodologiczne i metodyczne Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego i ich znaczenie w ochronie przyrody W: A. Kostrzewski, R. Kruszyk (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Stan, przemiany i funkcjonowanie geoekosystemów Polski w latach 1994–2004.

Kostrzewski A., 2011. Znaczenie programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w określeniu aktualnego stanu i przemian krajobrazu Polski. W: A. Kostrzewski, M. Samołyk (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie geoekosystemów w warunkach zmian użytkowania terenu i narastającej antropopresji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, 27: 11–16.

Kostrzewski A., 2012. Organizacja, zadania i funkcjonowanie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w latach 1992–2010. W: A. Kostrzewski, J. Szpikowski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie geoekosystemów w różnych strefach krajobrazowych Polski. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Storkowo: 10–12.

Kostrzewski A., 2016. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – powstanie i rozwój, znaczenie w rozpoznawaniu i ocena współczesnych przemian krajobrazowych. W: A. Kostrzewski, J. Szpikowski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie, tendencje rozwoju, zagrożenia i ochrona środowiska przyrodniczego Polski. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Storkowo: 11–18.

Kostrzewski A., 2017. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – 25 lat realizacji programu, znaczenie poznawcze i aplikacyjne W: M. Kejna, J. Uscka-Kowalkowska (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego Polski w warunkach globalnych zmian klimatu. Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń: 11–33.

Kostrzewski A., 2018. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – organizacja i realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w latach 2019–2023. W: W. Bochenek, M. Kijowska-Strugała (red.), Ocena funkcjonowania i kierunków zmian środowiska przyrodniczego Polski na podstawie wieloletnich badań stacjonarnych. Biblioteka Monitoringu Środowiska, 32.

Kostrzewski A., 2020. Indywidualność przedmiotowa Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – program realizacji na lata 2021–2025. W: A. Olszewski, A. Andrzejewska (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Aktualny stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemów jako cecha wskaźnikowa zmian klimatu. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 9–21.

Kostrzewski A., Kruszyk R., Kolander R., 2006. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań.

Kostrzewski A., Majewski M. (red.), 2018. Stan i przemiany środowiska przyrodniczego Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A., 1995. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji i system pomiarowy, wybrane metody badań. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 1–255.

Kostrzewski A., Mizgajski A., Stępniewska M., Tylkowski J., 2014. The use of Integrated Environmental Programme for ecosystem services assessment. Ekonomia i Środowisko, 4(51): 94–101.

Kostrzewski A., Stach A., 1992. Stacje terenowe monitoringu środowiska przyrodniczego w Polsce: lokalizacja, profil, zakres badań. W: Stacje terenowe Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Polsce: 3–11.

Kostrzewski A., Szpikowski J. (red.), 2012. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie geoekosystemów w różnych strefach krajobrazowych Polski. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Storkowo: 1–122.

Tylkowski J., Borysiak J., Kostrzewski A., Kruszyk R., Szpikowski J., 2018. Stan i przemiany środowiska przyrodniczego wybranych geoekosystemów Polski w latach 1994–2015. W: A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), Stan i przemiany środowiska przyrodniczego Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Poznań: 539–579.

3. Organizacja i cele Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Andrzej Kostrzewski, Mikołaj Majewski, Józef Szpikowski

Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

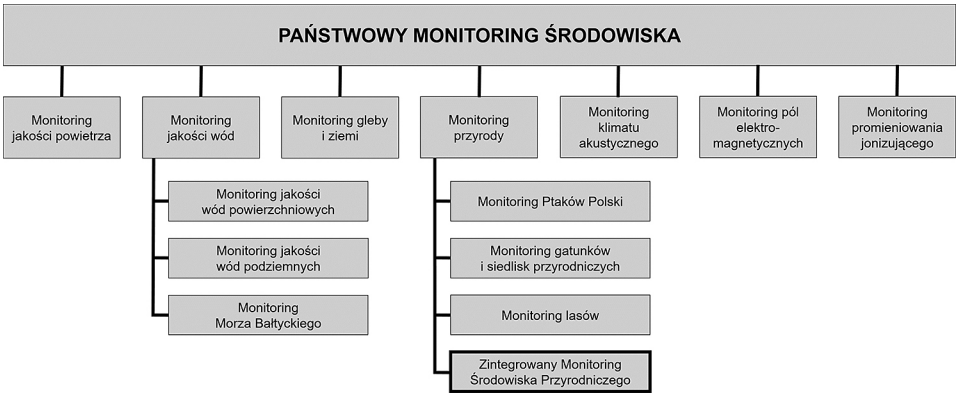
3.1. Organizacja i struktura Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Państwowym Monitoringu Środowiska

Wprowadzenie w Polsce ustawy o Państwowej Inspekcji Środowiska z dnia 20.07.1991 r. (Dz.U. 1991 nr 77, poz. 335 z późn. zm.) było wydarzeniem o znaczeniu historycznym, zwracającym równocześnie uwagę społeczeństwa na znaczenie monitoringu w ochronie środowiska Polski. W ustawie określono podstawowe zasady organizacji i realizacji monitoringu środowiska w Polsce, przedstawiono sposób zabezpieczania kontroli stanu środowiska oraz monitoring jego stanu i przemian w oparciu o monitoringi specjalistyczne i Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego (ryc. 3.1.1) (Kostrzewski 1995, 1996a, b, 1997, 2011, 2016, 2017, 2018, 2020, Kostrzewski, Majewski 2018).

Podstawowym celem Państwowego Monitoringu Środowiska jest zwiększenie skuteczności działań na rzecz ochrony środowiska poprzez zbieranie, analizowanie i udostępnianie danych dotyczących stanu środowiska i zmian w nim zachodzących (PIOŚ 1992). Struktura organizacyjna PMŚ w kolejnych latach zmieniała się stosownie do zmian administracyjnych w kraju. Natomiast aktualnie obowiązuje „Strategiczny program Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2020–2025" zatwierdzony przez Ministra Klimatu (GIOŚ 2020).

Podsystem Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego ustanowiony został zarządzeniem Głównego Inspektora Ochrony Środowiska z dnia 11.05.1992 r. W aktualnie obowiązującej strukturze organizacyjnej PMŚ (GIOŚ 2020) ZMŚP jest częścią podsystemu monitoringu przyrody (ryc. 3.1.1).

Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego ma na celu rejestrację i analizę krótko- i długoterminowych zmian zachodzących w geoekosystemach rzecznych i jeziornych pod wpływem zmian klimatu, zanieczyszczeń i innych przejawów ingerencji człowieka. Ustala bilans energetyczny i materialny monitorowanych geoekosystemów – zmiany ich struktury wewnętrznej, aktualny stan, formy zagrożeń i ochrony (Siuta 1989, Kostrzewski i in. 1995, Kostrzewski 2018, 2020, Kostrzewski, Majewski 2018).



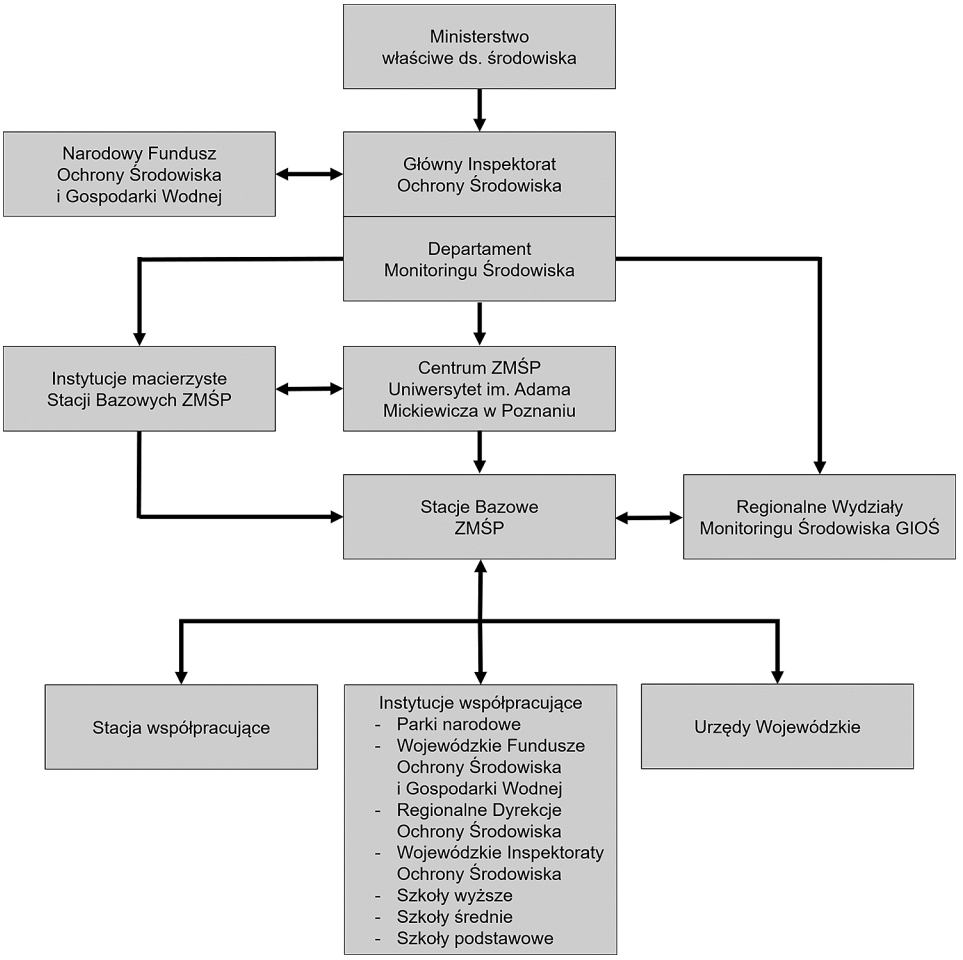
Ryc. 3.1.1. Miejsce ZMŚP w Państwowym Monitoringu Środowiska (Strategiczny program... 2020)

W nawiązaniu do przyjętych założeń ZMŚP winien monitorować wybrane elementy środowiska przyrodniczego geoekosystemów, które najlepiej rejestrują zmiany środowiskowe, określając zależności między nimi oraz skutki w środowisku przyrodniczym.

Powiązania organizacyjne i zależności (ryc. 3.1.2) oraz struktura organizacyjna ZMŚP (ryc. 3.1.3) wynikają zarówno z podstawowych celów i zadań ZMŚP, jak i uwarunkowań związanych z funkcjonowaniem ZMŚP w systemie PMŚ. Zakres programu ZMŚP ustalany jest przez Głównego Inspektora Ochrony Środowiska w wieloletnich strategicznych programach i wykonawczych programach Państwowego Monitoringu Środowiska. Natomiast w strukturze Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska sprawy związane z realizacją PMŚ, w tym ZMŚP, ulokowane są w Departamencie Monitoringu Środowiska (ryc. 3.1.2, 3.1.3). Koordynacja merytoryczna ZMŚP realizowana jest przez Centrum ZMŚP, które za pośrednictwem koordynatora merytorycznego (ryc. 3.1.2, 3.1.3) organizuje prace Stacji Bazowych w zakresie:

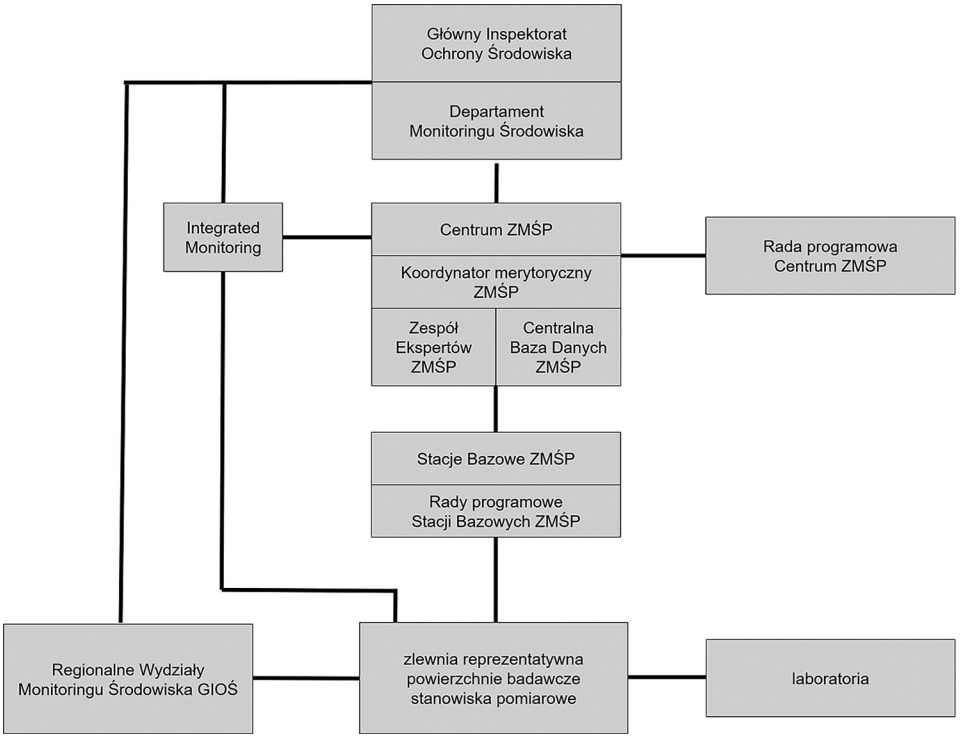
- realizacji programu (zatwierdzonego przez Głównego Inspektora Ochrony Środowiska),
- współpracy z ekspertami ZMŚP (pracownicy szkół wyższych i instytutów badawczych), standaryzacji systemu pomiarowego i centralnej bazy danych ZMŚP,
- organizacji sympozjów, seminariów i szkół,
- współpracy krajowej i zagranicznej.

Ponadto Centrum ZMŚP zabezpiecza realizację zadań związanych z weryfikacją danych pomiarowych ZMŚP, ich gromadzeniem w centralnej bazie danych ZMŚP oraz archiwizacją, a także opracowywaniem krajowych ocen stanu geoekosystemów. Centrum ZMŚP przekazuje zweryfikowane dane pomiarowe do Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, który corocznie przesyła je w uzgodnionym zakresie i formacie do struktur programu ICP Integrated Monitoring w Helsinkach.



Ryc. 3.1.2. Schemat powiązań organizacyjnych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Stacje Bazowe ZMŚP są autonomicznymi jednostkami organizacyjnymi, które znajdują się w strukturze jednostek naukowych, parków narodowych i innych instytucji. Organizują terenowe i laboratoryjne systemy pomiarowe (zatwierdzane przez odpowiedniego eksperta), realizują pomiarowe i analityczne programy podstawowe oraz programy specjalistyczne (związane z indywidualnością przyrodniczą Stacji), przekazują dane pomiarowe do centralnej bazy danych ZMŚP, opracowują roczne raporty o stanie i funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego monitorowanej zlewni, upowszechniają wyniki badań w publikacjach, organizują sympozja, seminaria i szkoły, prowadzą współpracę krajową i zagraniczną (ryc. 3.1.2, 3.1.3).



Ryc. 3.1.3. Struktura organizacyjna Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

W strukturze organizacyjnej ZMŚP funkcjonuje również zespół ekspertów ZMŚP (w 2021 r. – 17 osób), Rada Programowa Centrum ZMŚP i Rady Programowe Stacji Bazowych, głównie w zakresie opiniodawczym, zabezpieczając odpowiedni poziom merytoryczny i sprawne funkcjonowanie ZMŚP. Skład zespołu ekspertów proponuje koordynator ZMŚP i konsultuje z dyrektorem Departamentu Monitoringu Środowiska. Podstawowym zadaniem ekspertów jest stwierdzenie poprawności merytorycznej realizowanych programów, systemów pomiarowych i laboratoryjnych oraz interpretacja otrzymanych danych pomiarowych.

Stacje Bazowe winny być zlokalizowane na terenie zlewni eksperymentalnej, w zasięgu której rozmieszczony jest standardowy system pomiarowy. Wszystkie Stacje Bazowe mają własne laboratoria, w których w zależności od posiadanej aparatury wykonują pełen zakres analiz albo prace przygotowawcze przed przekazaniem do laboratorium akredytowanego. Planuje się w przyszłości, że analizy próbek wodnych ze wszystkich Stacji Bazowych będą wykonywane w laboratoriach akredytowanych (ryc. 3.1.3).

Przedstawione powiązania organizacyjne (ryc. 3.1.2) i struktura ZMŚP stanowią podstawę realizacji celów ZMŚP, do których zaliczyć można (Kostrzewski i in. 1995, Kostrzewski 2018):

- określenie prawidłowości obiegu energii i przepływu materii w reprezentowanych geoekosystemach Polski jako podstawy typologii geoekosystemów;
- określenie kierunku i tempa przemian krajobrazowych monitorowanych geoekosystemów;
- zbieranie danych jakościowych i ilościowych o stanie aktualnym geoekosystemów jako podstawy określenia diagnozy stanu środowiska, kierunków zagrożeń i form ochrony;
- określenie jakościowe i ilościowe różnych przejawów (stanów) funkcjonowania geoekosystemów (powodzie, susze, huragany itd.);
- określenie wartości progowych w funkcjonowaniu geoekosystemów (wystąpienie powodzi, huraganów) jako podstawy monitoringu ostrzegawczego;
- przedstawienie i ocena stanu zasobów przyrodniczych monitorowanych geoekosystemów oraz kierunków ich zagrożeń i proponowanych form ochrony;
- opracowanie na różne potrzeby, o charakterze naukowym i praktycznym, informacji o aktualnym stanie geoekosystemów i kierunków ich rozwoju;
- opracowanie i upowszechnienie wskaźników o jakości stanu środowiska przyrodniczego;
- upowszechnienie informacji o aktualnym stanie i przemianach geoekosystemów w publikacjach, organizowanych konferencjach, sympozjach, seminariach, szkołach, w skali krajowej i międzynarodowej.

Przedstawione podstawowe cele ZMŚP są ważne zarówno z merytorycznego, jak i aplikacyjnego punktu widzenia, winny być przedmiotem zainteresowania i realizacji przez Stacje Bazowe w szeroko pojętych studiach krajobrazowych.

3.2. Powiązanie systemu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego z systemem europejskim Integrated Monitoring i dyrektywą pułapową

Realizowany program pomiarowy ZMŚP, systematyczna jego weryfikacja (co 3 lata), a także systematyczna standaryzacja stosowanych metodyk terenowych i laboratoryjnych (Kostrzewski i in. 1995, 2006, Marciniak 2017, Kostrzewski, Majewski 2021) sprawiły, że aktualnie nawiązuje on do europejskiego programu ICP IM, a wybrane Stacje Bazowe ZMŚP zostały wskazane jako stacje monitoringowe, na których badane są wskaźniki wpływu zanieczyszczenia powietrza na ekosystemy na potrzeby dyrektywy NEC.

Przesłanki dla powyższego, w pełni uzasadnione, zarówno z teoretycznego, jak i aplikacyjnego punktu widzenia, są następujące:

- sieć ZMŚP obejmuje 11 Stacji Bazowych, zlokalizowanych w zasięgu eksperymentalnych geoekosystemów zlewni rzecznych i jeziornych, reprezentujących podstawowe typy krajobrazów naszego kraju;
- ZMŚP dysponuje wieloletnimi seriami obserwacyjnymi, zweryfikowanymi, gromadzonymi w centralnej bazie danych ZMŚP;
- Stacje Bazowe ZMŚP składają coroczne raporty dotyczące stanu i przemian środowiska przyrodniczego monitorowanych geoekosystemów;

- raporty Stacji Bazowych stanowią podstawę opracowania raportu rocznego o stanie i przemianach środowiska przyrodniczego Polski;
- włączenie w 2017 r. 9 Stacji Bazowych do sieci europejskiej Integrated Monitoring (IM) oraz wskazanie w 2018 r. dwóch Stacji Bazowych (nizinnej – Parsęta i górskiej – Beskid Niski) jako stacji monitoringowych, na których badane są wskaźniki wpływu zanieczyszczenia powietrza na ekosystemy na potrzeby dyrektywy NEC, zobowiązuje system ZMŚP do stałej weryfikacji i standaryzacji stosowanych metodyk badań terenowych i laboratoryjnych, stanowi doskonałą możliwość studiów porównawczych we współpracy międzynarodowej;
- wyniki badań mogą być upowszechniane w większym stopniu w skali europejskiej, co jest bardzo istotne pod względem merytorycznym z geograficznego i przyrodniczego punktu widzenia, a także ze względów praktycznych, w zakresie ochrony środowiska.

International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystem (ICP IM) jest jednym z Międzynarodowych Programów Współpracy (ICPs), w oparciu o które realizowana jest konwencja w sprawie transgranicznego zanieczyszczenia powietrza na dalekie odległości (LRTAP) ustanowiona w Genewie 13.11.1979 r. i ratyfikowana przez Polskę 19.03.1985 r. ICP IM, podobnie jak inne ICP, jest programem naukowym, który koordynowany jest przez Grupę Zadań (TF). Centrum Programowe ICP IM zlokalizowane jest w Helsinkach w Fińskim Instytucie Środowiska (Finnish Environment Institute). Natomiast koordynacja zadań (TF) mieści się w Szwecji.

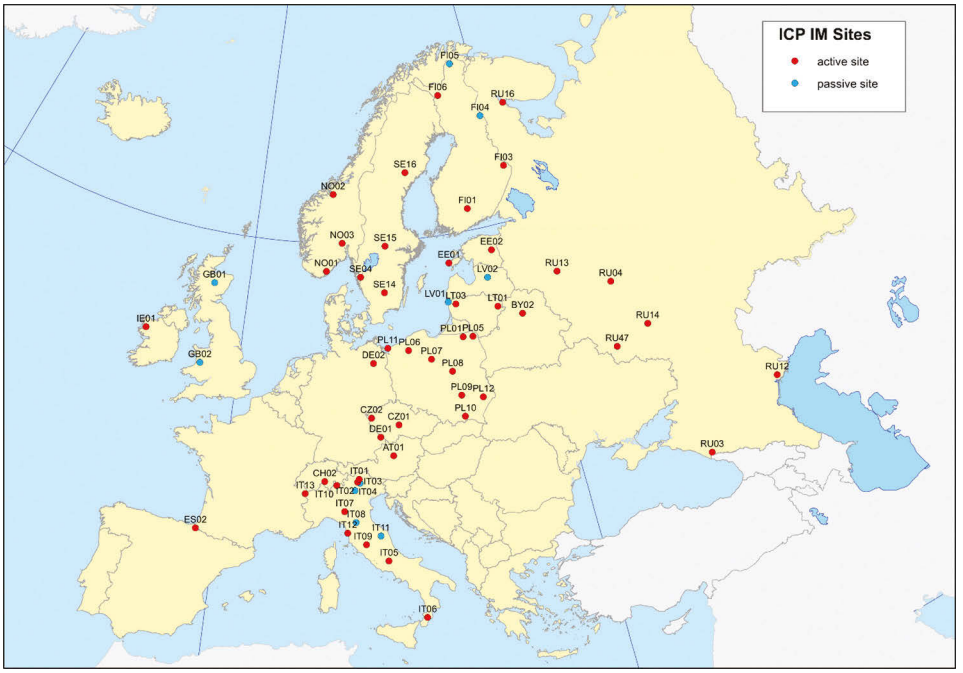
Należy dodać, że aktualnie ważnym zadaniem funkcjonowania ICP IM są badania naukowe w zakresie wpływu tzw. megatrendów, przede wszystkim zmian klimatu, na ekosystemy i bioróżnorodność. Taki kierunek badań, a przede wszystkim jego rezultaty, mają być przydatne dla ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych ws. zmian klimatu i konwencji o różnorodności biologicznej. Powyższe podejście badawcze jest zbliżone do założeń programu ZMŚP, w którym w oparciu o szczegółowe badania poszczególnych elementów środowiska przyrodniczego określany jest stan środowiska geoekosystemu, w powiązaniu ze zmianami klimatu i różnokierunkową antropopresją, wskazywane są kierunki zagrożeń, przedstawiane propozycje ochrony. System pomiarowy zlokalizowany jest w zasięgu zlewni rzecznej, uznanej za reprezentatywną dla określonego regionu fizyczno-geograficznego. Zgodnie z wymogami ICP IM, w zlewniach eksperymentalnych ZMŚP możliwe jest określenie bilansu energetycznego i materialnego. W ramach ZMŚP prowadzone są systematyczne obserwacje zmian użytkowania terenu. Wszelkie zmiany związane z zarządzaniem obszarem zlewni zgodnie z zaleceniami ICP IM są odpowiednio dokumentowane.

W oparciu o szczegółową analizę i porównanie programu ZMŚP z programem International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystem (ICP IM, Skotak, Bratkowski 2016) w 2017 r. uzyskano zgodę na włączenie 9 Stacji ZMŚP do ICP IM. Na podstawie ww. analizy przyjęty został do realizacji program ZMŚP (tab. 3.2.1), a wybrane dane pomiarowe przekazywane są do centrali w Helsinkach.

Tabela 3.2.1. Obligatoryjne programy pomiarowe ICP Integrated Monitoring i Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

ZMŚP			ICP IM		
Kod programu	Program	n	Kod programu	Program	n
A1	Meteorologia	15	AM	Meteorology	7
B1	Zanieczyszczenie powietrza	2	AC	Air chemistry	7
C1	Chemizm opadów atmosferycznych	11	PC	Precipitation chemistry	12
C2	Chemizm opadu podkoronowego	12	TF	Throughfall	14
C3	Chemizm spływu po pniach	12	SF	Stemflow (opcjonalny)	14
D1	Metale ciężkie i siarka w porostach	8			
D2	Metale ciężkie i siarka w mchach	8	MC	Metal chemistry of mosses (opcjonalny)	9
E1	Gleby	20	SC	Soil chemistry	17
F1	Chemizm roztworów glebowych	12	SW	Soil water chemistry	16
F2	Wody podziemne	14	GW	Groundwater chemistry (opcjonalny)	17
G2	Opad organiczny	5	LF	Litterfall chemistry	13
H1	Wody powierzchniowe – rzeki	20	RW	Runoff water chemistry	15
H2	Wody powierzchniowe – jeziora	16	LC	Lake water chemistry (opcjonalny)	14
I1	Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego	22			
J2	Struktura i dynamika szaty roślinnej	21	VG	Vegetation (intensive plot)	10
J3	Gatunki inwazyjne obcego pochodzenia – rośliny	8			
K1	Uszkodzenia drzew i drzewostanów	2	FD	Forest damage (opcjonalny)	4
			FC	Foliage chemistry	13
			EP	Trunk epiphytes	3

Sieć Stacji Bazowych ZMŚP w Polsce wzbogaciła i rozszerzyła sieć stacji ICP IM (ryc. 3.2.1). W oparciu o realizowane programy przez stacje sieci ICP IM możliwe są studia porównawcze zmian środowiska przyrodniczego Europy w transektach południkowych i równoleżnikowych.



Ryc. 3.2.1. Rozmieszczenie stacji ICP IM (International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems)
Źródło: https://www.syke.fi.

Cele programu ZMŚP i wieloletnie doświadczenia w jego realizacji pozwoliły na wskazanie w 2018 r. dwóch Stacji Bazowych jako stacji monitoringowych, na których badane są wskaźniki wpływu zanieczyszczenia powietrza na ekosystemy na potrzeby dyrektywy NEC i wykorzystanie uzyskiwanych przez nie wyników w realizacji obowiązków sprawozdawczych Polski w tym zakresie w 2019 r.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej (2016/2284) NEC z dnia 14.12.2016 r. dotyczy redukcji krajowych emisji niektórych zanieczyszczeń atmosferycznych, a jej artykuł 9 zobowiązuje państwa członkowskie UE do monitorowania negatywnego wpływu zanieczyszczenia powietrza na ekosystemy w oparciu o reprezentatywną sieć stacji monitoringowych. W organizacji monitoringu należy wziąć pod uwagę regionalizację biogeograficzną, stosowaną w Unii Europejskiej, według której nasz kraj położony jest w strefie typu kontynentalnego i alpejskiego. W obrębie analizowanych regionów biogeograficznych należy uwzględnić sześć kategorii użytkowania – łąki, tereny uprawne, lasy, wrzosowiska i zakrzaczenia, tereny podmokłe, rzeki i jeziora. Załącznik V dyrektywy NEC proponuje wprowadzenie kategorii zintegrowanego monitoringu, który dotyczy kompleksowych obserwacji parametrów fizycznych, chemicznych i biologicznych w zasięgu zlewni rzecznej i jeziornej. Efektem realizowanego monitoringu winna być możliwość określenia związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy atmosferą, glebą, wodą i środowiskiem ożywionym.

Przedstawione cele i zadania monitoringu wpływu zanieczyszczeń powietrza w ramach dyrektywy NEC są w dużym stopniu zbliżone do programu ZMŚP. Jak już wspomniano, w 2018 r. dwie Stacje Bazowe ZMŚP zostały wskazane jako stacje monitoringowe, na których badane są wskaźniki wpływu zanieczyszczenia powietrza na ekosystemy na potrzeby dyrektywy NEC, a mianowicie Stacja Bazowa Parsęta, obejmująca zlewnię górnej Parsęty na Pojezierzu Drawskim i Stacja Bazowa Beskid Niski, realizująca monitoring zintegrowany w zlewni Bystrzanki. Wymienione Stacje Bazowe reprezentują różne typy środowiska przyrodniczego – nizinne i górskie, charakterystyczne dla naszego kraju.

Informowanie Komisji Europejskiej i Europejskiej Agencji Środowiska o lokalizacji prowadzenia badań monitoringowych w strefie negatywnego wpływu zanieczyszczeń powietrza na ekosystemy i stosowanych wskaźnikach oraz przekazywanie uzyskanych wyników jest ustawowym obowiązkiem Głównego Inspektora Ochrony Środowiska. Stacje Bazowe ZMŚP będą przekazywać co cztery lata do GIOŚ dane pomiarowe z realizowanego monitoringu w zlewniach rzecznych na potrzeby wywiązywania się Polski ze zobowiązań wynikających z dyrektywy NEC. Należy dodać, że oprócz wymienionych Stacji Bazowych ZMŚP w realizacji powyższych zobowiązań wykorzystywane są dane z wybranych stacji funkcjonujących w ramach innych zadań monitoringowych PMŚ.

Literatura

Kostrzewski A., 1995. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – cele, założenia, zadania. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Propozycje programowe. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 7–22.

Kostrzewski A., 1996a. Pożądany model funkcjonowania monitoringu środowiska przyrodniczego w Polsce. W: A. Kostrzewski, L. Pawłowski (red.), Główne problemy monitoringu w Polsce. Kom. Nauk. „Człowiek i Środowisko", Zesz. Nauk., 16: 7–27.

Kostrzewski A., 1996b. Znaczenie programu ZMŚP dla rejestracji przemian i zachowania struktury krajobrazowej Polski. W: R. Soja, P. Prokop (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Monitoring geoekosystemów górskich. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 9–21.

Kostrzewski A., 1997. ZMŚP i jego znaczenie w rozpoznaniu i ochronie struktury krajobrazowej Polski. W: A. Kostrzewski, L. Pawłowski (red.), Główne problemy monitoringu w Polsce. Zeszyty Naukowe, Lublin, 20.

Kostrzewski A., 2011. Znaczenie programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w określeniu aktualnego stanu i przemian krajobrazu Polski. W: A. Kostrzewski, M. Samołyk (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie geoekosystemów w warunkach zmian użytkowania terenu i narastającej antropopresji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, 27: 11–16.

Kostrzewski A., 2016. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – powstanie i rozwój, znaczenie w rozpoznawaniu i ocena współczesnych przemian krajobrazowych. W: A. Kostrzewski, J. Szpikowski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie, tendencje rozwoju, zagrożenia i ochrona środowiska przyrodniczego Polski. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Storkowo: 11–18.

Kostrzewski A., 2017. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – 25 lat realizacji programu, znaczenie poznawcze i aplikacyjne. W: M. Kejna, J. Uscka-Kowalkowska (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego Polski w warunkach globalnych zmian klimatu. Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń: 11–33.

Kostrzewski A., 2018. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – organizacja i realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w latach 2019–2023. W: W. Bochenek, M. Kijowska-Strugała (red.), Ocena funkcjonowania i kierunków zmian środowiska przyrodniczego Polski na podstawie wieloletnich badań stacjonarnych. Biblioteka Monitoringu Środowiska, 32, Szymbark.

Kostrzewski A., 2020. Indywidualność przedmiotowa Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – program realizacji na lata 2021–2025. W: A. Olszewski, A. Andrzejewska (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Aktualny stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemów jako cecha wskaźnikowa zmian klimatu. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 9–21.

Kostrzewski A., Kruszyk R., Kolander R., 2006. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań.

Kostrzewski A., Majewski M. (red.), 2018. Stan i przemiany środowiska przyrodniczego Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A., 1995. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji i system pomiarowy, wybrane metody badań. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 1–255.

Marciniak M., 2016. Inwentaryzacja wyposażenia aparaturowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Poznań.

Siuta J., 1989. Państwowy Monitoring Środowiska. Struktura i założenia programowe monitoringu zintegrowanego. PIOŚ, Warszawa.

Skotak K., Bratkowski J., 2016. Ocena realizacji programu ICP IM na stacjach ZMŚP. Referat wygłoszony w ramach XXV Sympozjum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie, tendencje rozwoju, zagrożenia i ochrona środowiska przyrodniczego Polski, Borne Sulinowo, 27–29.04.2016.

Strategiczny program PMŚ na lata 2020–2025, 2020. GIOŚ, Warszawa.

Ustawa z dnia 20 lipca 1991 r. o Inspekcji Ochrony Środowiska (Dz.U. nr 77, poz. 35).

4. Zlewnie badawcze Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Andrzej Kostrzewski, Mikołaj Majewski, Józef Szpikowski

Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

4.1. Założenia doboru zlewni rzecznych i jeziornych do sieci Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Opracowane podstawy metodologiczno-metodyczne funkcjonowania geoekosystemów zlewni rzecznych i jeziornych (Kostrzewski 1986, 1993, 1995a, b, 2016, 2017, 2018, 2020, Kostrzewski, Majewski 2018) stanowią podstawę doboru zlewni rzecznych i jeziornych do sieci Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Polsce. W umiarkowanej strefie klimatycznej (a także innych strefach) obieg energii i przepływ materii w rocznym i wieloletnim cyklu obserwacyjnym najlepiej określają geoekosystemy zlewni rzecznych i jeziornych. Rozpoznanie funkcjonowania geoekosystemów zlewni rzecznych i jeziornych, ich przemian w czasie i przestrzeni, jest dobrą cechą wskaźnikową określającą stan i przemiany środowiska przyrodniczego. Porównując mechanizm funkcjonowania geoekosystemów umiarkowanej strefy klimatycznej z innymi strefami klimatycznymi, należy pamiętać o prawidłowości, którą nazywamy konwergencją rozwoju geoekosystemów. Mianowicie geoekosystemy położone w różnych strefach klimatycznych rozwijają się w różny sposób, ale efektem końcowym rozwoju geoekosystemów wszystkich stref klimatycznych jest prawierównia – peneplena (cecha ekwifinalistyczna). Sprawą pierwszorzędnej wagi jest określenie indywidualności przyrodniczej wybranych do monitoringu zintegrowanego zlewni w zasięgu strefy krajobrazowej kontynentu i regionu. Uwarunkowania o charakterze regionalnym (m.in. położenie geograficzne, cechy fizycznogeograficzne obszaru zlewni, struktura użytkowania terenu, różne przejawy antropopresji) i ponadregionalnym (m.in. typ cyrkulacji atmosferycznej, odległe źródła zanieczyszczeń naturalnych i antropogenicznych), określają indywidualność przyrodniczą geoekosystemów zlewni rzecznych i jeziornych, wpływają na ich przemiany i rozwój. Kolejną ważną właściwością geoekosystemu jest jego wiek (etap rozwoju), który także winien być uwzględniony przy wyborze geoekosystemów do monitoringu zintegrowanego. Takie są wymogi podejścia badawczego przy doborze geoekosystemów zlewni rzecznych i jeziornych do monitoringu zintegrowanego.

W oparciu o szczegółową analizę, opartą na zebranej informacji o Stacjach Terenowych w Polsce (Kostrzewski, Stach 1992), w roku 1991 do monitoringu zintegrowanego zaproponowano 16 zlewni rzecznych. Natomiast w roku 1993 monitoring rozpoczęty został, ze względów organizacyjnych (brak gotowości do podjęcia pomiarów), w 7 zlewniach eksperymentalnych (Kostrzewski 1993, 1994, 1995, 1996, 1997). Aktualnie w sieci ZMŚP standaryzowany monitoring zintegrowany realizowany jest w obrębie 11 zlewni rzecznych lub jeziornych, położonych w różnych strefach krajobrazowych Polski (ryc. 2.3.2, tab. 2.3.1), zróżnicowanych w zakresie wielkości i struktury użytkowania terenu. Sprawą podstawową jest prawidłowe wyznaczenie granic otuliny zlewni oraz przeprowadzenie inwentaryzacji (kartowania terenowego) poszczególnych elementów fizycznogeograficznych (budowa geologiczna, rzeźba, gleby, wody powierzchniowe i podziemne, roślinność itd.), a także różnych obiektów wprowadzanych przez człowieka (melioracje, progi wodne, młyny, zakłady produkcyjne, składowiska śmieci itd.) oraz źródeł zanieczyszczeń, również dalekiego zasięgu.

Zlewnia jeziora Gardno (Stacja Bazowa ZMŚP Wolin) jest zlewnią reprezentującą geoekosystemy nadmorskie (strefy młodoglacjalnej), położoną na wyspie Wolin, na obszarze Wolińskiego Parku Narodowego. Indywidualnością geograficzną zlewni jest nadmorskie położenie, duża energia rzeźby, brak odpływu powierzchniowego, zalesienie z dominacją drzewostanu bukowego, znaczący wpływ aerozoli morskich, położenie na obszarze Natura 2000 oraz mała antropopresja (Tylkowski i in. 2018).

Zlewnia górnej Parsęty (Stacja Bazowa Parsęta) położona jest w strefie młodoglacjalnej w zasięgu Pomorza Środkowego, na Pojezierzu Drawskim. Indywidualnością geograficzną zlewni jest zespół form rzeźby glacjalnej, fluwioglacjalnej i fluwialnej, zróżnicowana struktura użytkowania terenu, płaty obszaru Natura 2000 (35% zlewni), znaczące przekształcenia antropogeniczne koryta Parsęty oraz aktualnie małe przejawy antropopresji (Szpikowski i in. 2018).

Zlewnia jeziora Łękuk (Stacja Bazowa Puszcza Borecka) położona jest w strefie młodoglacjalnej Pojezierza Mazurskiego. Indywidualnością geograficzną zlewni jest rzeźba terenu strefy młodoglacjalnej, odpływ powierzchniowy, położenie na wododziale, fitocenozy leśne z dominacją świerka, ostoja naturalnych siedlisk środkowoeuropejskich lasów liściastych typu grądu, obszar Natura 2000, zróżnicowana struktura użytkowania terenu z dominacją lasu oraz mała antropopresja (Skotak i in. 2018).

Zlewnia różnicowa Czarnej Hańczy (Stacja Bazowa Wigry) położona jest w strefie młodoglacjalnej Pojezierza Litewskiego. Indywidualnością geograficzną zlewni jest rzeźba terenu strefy młodoglacjalnej (formy glacjalne i fluwioglacjalne), surowe warunki klimatyczne, znaczny stopień bezodpływowości, w strukturze użytkowania dominują lasy (65%), 5 siedlisk przyrodniczych Natura 2000 oraz mała antropopresja (Krzysztofiak 2018).

Zlewnia Strugi Toruńskiej (Stacja Bazowa Pojezierze Chełmińskie) położona jest w strefie młodoglacjalnej Pojezierza Chełmińskiego. Indywidualnością geograficzną zlewni jest rzeźba terenu strefy młodoglacjalnej, w strukturze użytkowania dominują kompleksy pól uprawnych, obszar silnie przekształcony

antropogenicznie – melioracje, zanieczyszczenia rolnicze, powietrza, np. zakłady przemysłowe oraz sieć komunikacyjna (Kejna i in. 2018).

Zlewnia Różanego Strumienia (Stacja Bazowa Poznań-Morasko) położona jest w strefie młodoglacjalnej Pojezierza Wielkopolskiego. Indywidualnością geograficzną zlewni jest duża energia rzeźby młodoglacjalnej, zróżnicowana struktura użytkowania terenu, położenie w granicach aglomeracji miasta Poznania oraz znaczące przekształcenia antropogeniczne (zanieczyszczenia wód powierzchniowych, podziemnych, powietrza).

Zlewnia Kanału Olszowieckiego (Stacja Bazowa Kampinos) położona jest w strefie staroglacjalnej Niziny Środkowomazowieckiej (Kotlina Warszawska). Indywidualnością geograficzną zlewni jest występowanie wydm z zagłębieniami deflacyjnymi, obniżenia dolinne z utworami organicznymi, dominacja w strukturze użytkowania terenu obszarów silnie przekształconych przez człowieka, znaczący wpływ zanieczyszczeń atmosferycznych z Warszawy oraz pochodzenia rolniczego z Równiny Łowicko-Błońskiej.

Zlewnia Wieńca (Stacja Bazowa Łysogóry) położona jest w Górach Świętokrzyskich w masywie Łysogór. Indywidualnością geograficzną zlewni jest rzeźba górska o dużych deniwelacjach, klimat obszarów górskich, występowanie obszaru Natura 2000, dominacja w strukturze użytkowania terenu lasów mieszanych z udziałem jodły (78%), obszarów rolniczych i nieciągłej zabudowy oraz wpływ zanieczyszczeń z dalekiego transportu.

Zlewnia Świerszcza (Stacja Bazowa Roztocze) położona jest na Roztoczu (Roztoczu Środkowym i Zachodnim), reprezentuje krajobraz wyżynny. Indywidualnością geograficzną zlewni jest rzeźba wyżynna zróżnicowana morfologicznie, naturalny charakter cieku, dominacja lasów (olchowych, sosnowych i jodłowych) pochodzenia naturalnego oraz ukształtowanych antropogenicznie, występowanie obszaru Natura 2000 i słaba antropopresja.

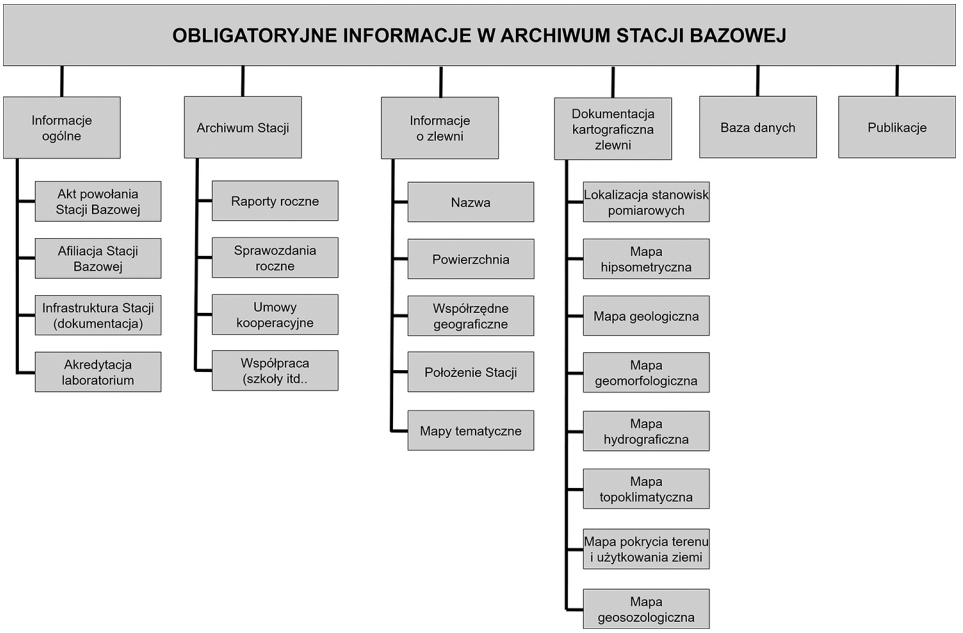
Zlewnia Bystrzanki (Stacja Bazowa Beskid Niski) położona w Beskidach Środkowych (Beskid Niski) reprezentuje geoekosystem gór średnich o budowie fliszowej. Indywidualnością geograficzną zlewni jest rzeźba górska o charakterze erozyjno-denudacyjnym, dominują skały piaskowo-łupkowe i łupkowo piaskowcowe, eoliczne osuwiska (30% zlewni), piętrowość klimatyczna – piętro umiarkowane ciepłe i umiarkowane chłodne, piętrowość roślinna – piętro wyższe: buczyna karpacka (jodła, buk), piętro pogórskie: grąd (graby, lipa, jawor, jesion), gleby brunatne, w użytkowaniu terenu dominują użytki rolne – 44,7% (w tym orne 8,9%, zielone 35,9%) i powierzchnie zalesione 38,2%, mała antropopresja, zanieczyszczenia substancjami biogennymi i rolniczymi (Bochenek i in. 2018).

Zlewnia Wrzosówki (Stacja Bazowa Karkonosze) położona w Karkonoszach reprezentuje geoekosystem gór średnich. Indywidualnością geograficzną zlewni jest rzeźba górska, duże deniwelacje, ślady zlodowacenia górskiego, w budowie geologicznej dominują skały krystaliczne, głównie granity, wyraźne piętra klimatyczno-roślinne – piętro regla dolnego: kwaśna buczyna sudecka, bór świerkowo-jodłowy, ekosystemy łąkowe, piętro regla górnego: świerczyna sudecka, stokowe torfowiska przejściowe.

4.2. Dokumentacja zlewni eksperymentalnej Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Stacja Bazowa wprowadzona do sieci Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego winna posiadać dobre rozpoznanie środowiska przyrodniczego wytypowanej do monitoringu zlewni rzecznej lub jeziornej wraz z otoczeniem (Kostrzewski 1995, Kostrzewski i in. 1995). Rozpoznanie wstępne powinno opierać się na aktualnej literaturze naukowej, materiałach kartograficznych, materiałach archiwalnych i bezpośrednich badaniach terenowych.

Stabilność Stacji Bazowej oraz zlewni eksperymentalnej zabezpieczają zebrane, wiarygodne informacje (ryc. 4.2.1), które wymagają uzgodnień z Centrum ZMŚP i jednostką macierzystą, z którą związana jest Stacja Bazowa na etapie wstępnym przyjmowania Stacji do sieci ZMŚP.



Ryc. 4.2.1. Obligatoryjne informacje dotyczące zlewni rzecznej i jeziornej ZMŚP

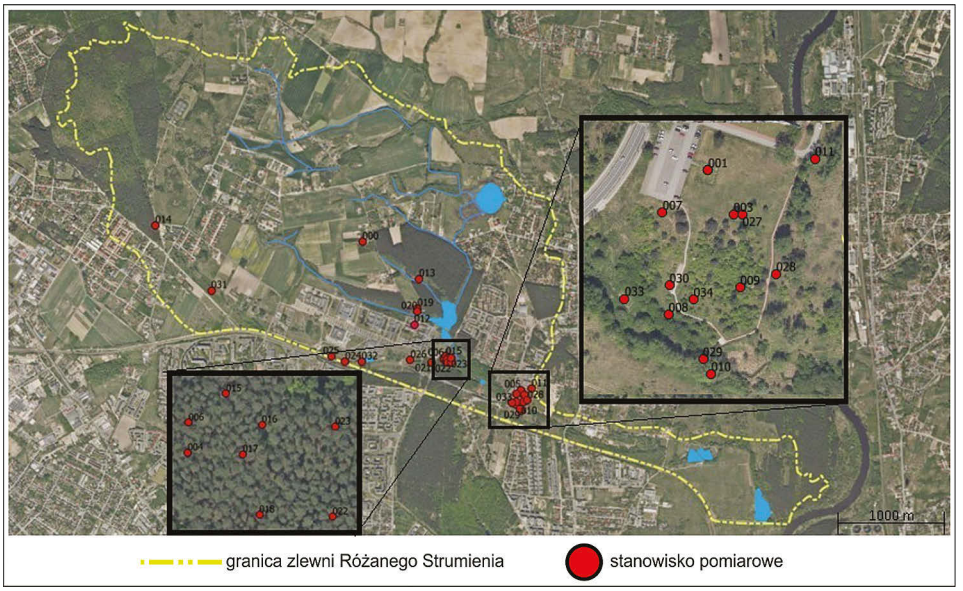
Dokumentacja zlewni eksperymentalnej winna obejmować następujące sprawy:

- aktualne powołanie Stacji Bazowej ZMŚP, potwierdzone przez jednostkę macierzystą,
- tablicę informacyjną Stacji (ustalony standard), regulamin stacji podpisany także przez przedstawiciela jednostki macierzystej, nazwę stacji,
- pismo dokumentujące pomieszczenia (wraz z laboratorium) Stacji Bazowej,
- powierzchnię i obwód zlewni eksperymentalnej,

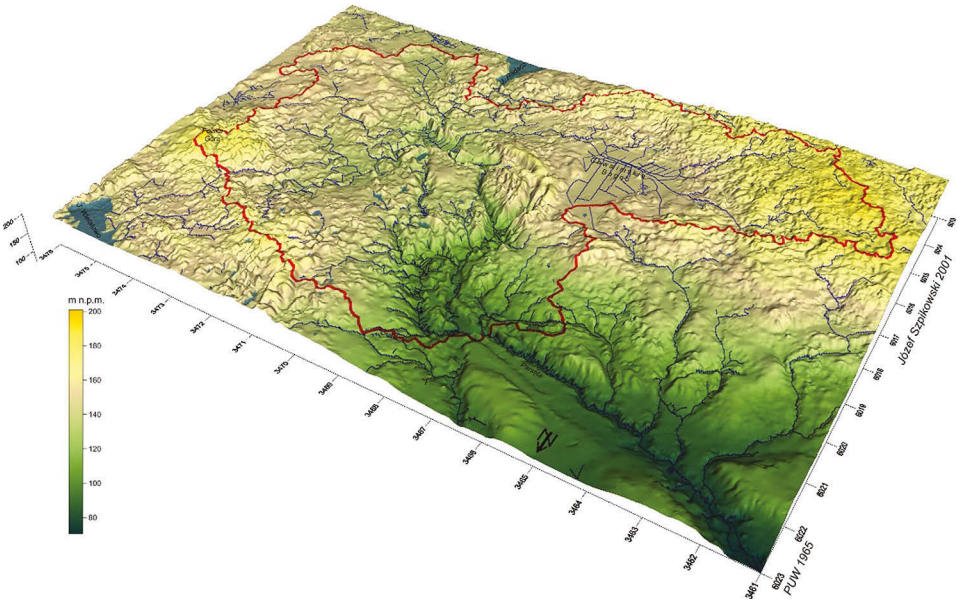
- współrzędne geograficzne, określające położenie zlewni eksperymentalnej, a w jej zasięgu systemu pomiarowego (stanowiska, transekty powierzchni),
- najdłuższą i najkrótszą oś zlewni eksperymentalnej,
- dokumentację kartograficzną:
  - mapę z lokalizacją stanowisk pomiarowych w zlewni eksperymentalnej (ryc. 4.2.2),
  - numeryczny model rzeźby terenu zlewni eksperymentalnej (ryc. 4.2.3),
  - mapę geologiczną zlewni eksperymentalnej (ryc. 4.2.4),
  - mapę geomorfologiczną zlewni eksperymentalnej (ryc. 4.2.5),
  - mapę glebową zlewni eksperymentalnej (ryc. 4.2.6),
  - mapę hydrograficzną zlewni eksperymentalnej (ryc. 4.2.7),
  - mapę topoklimatyczną zlewni eksperymentalnej,
  - mapę pokrycia terenu i użytkowania ziemi zlewni eksperymentalnej (ryc. 4.2.8),
  - mapę geosozologiczną zlewni eksperymentalnej (ryc. 4.2.9),
- dokumentację zdarzeń o charakterze katastrofalnym (powodzie, huragany itd.) oraz obiektów o charakterze antropogenicznym (układ dróg, zabudowy, melioracje, urządzenia hydrotechniczne itd.),
- serie obserwacyjne zweryfikowane pomiarów w zasięgu zlewni eksperymentalnej (po weryfikacji w centralnej bazie danych ZMŚP),
- spis publikacji Stacji Bazowej w zakresie ZMŚP.

Dokumentacja powinna być archiwizowana i przechowywana w różnych kopiach, np. na specjalnie przygotowanych jednostkach komputerowych, na przenośnych nośnikach danych (dyski zewnętrzne) oraz na dyskach wirtualnych (w chmurze).

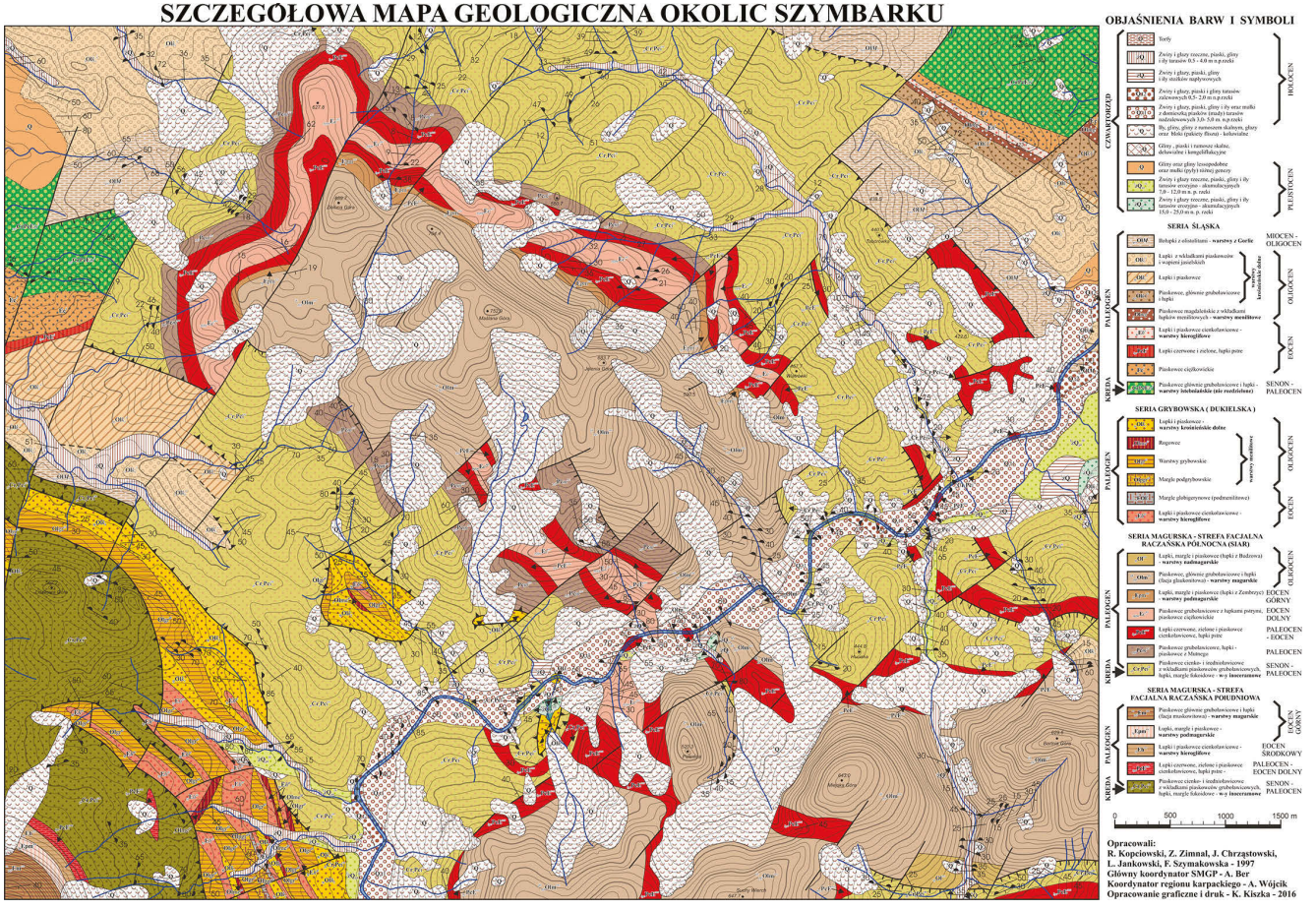
Przedstawione założenia dotyczące informacji i dokumentacji Stacji Bazowej ZMŚP mają charakter otwarty, będą modyfikowane wraz ze zmianami w metodach badań terenowych i laboratoryjnych.



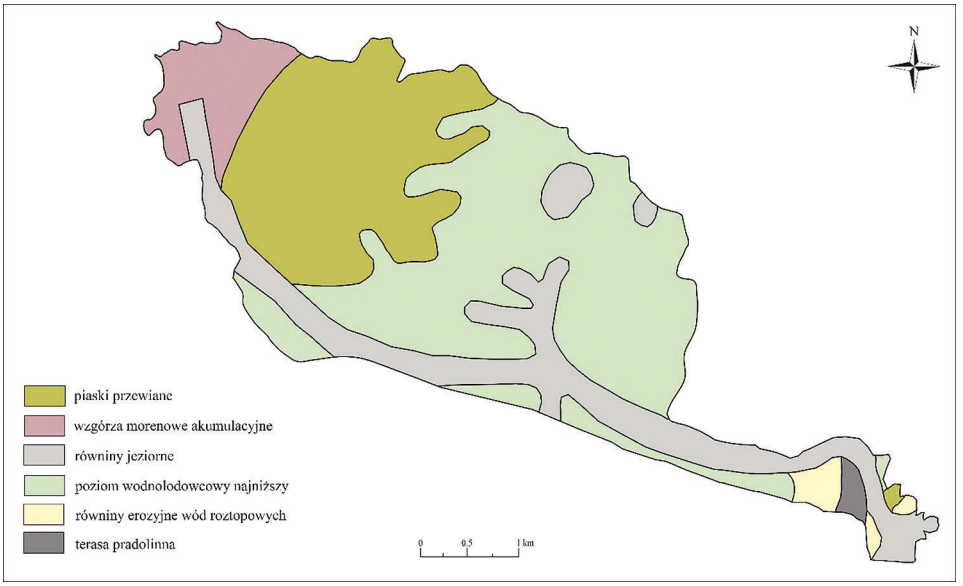
Ryc. 4.2.2. Lokalizacja stanowisk pomiarowych w zlewni rzecznej/jeziornej. Przykład ze SB Poznań-Morasko (Major i in. 2020)



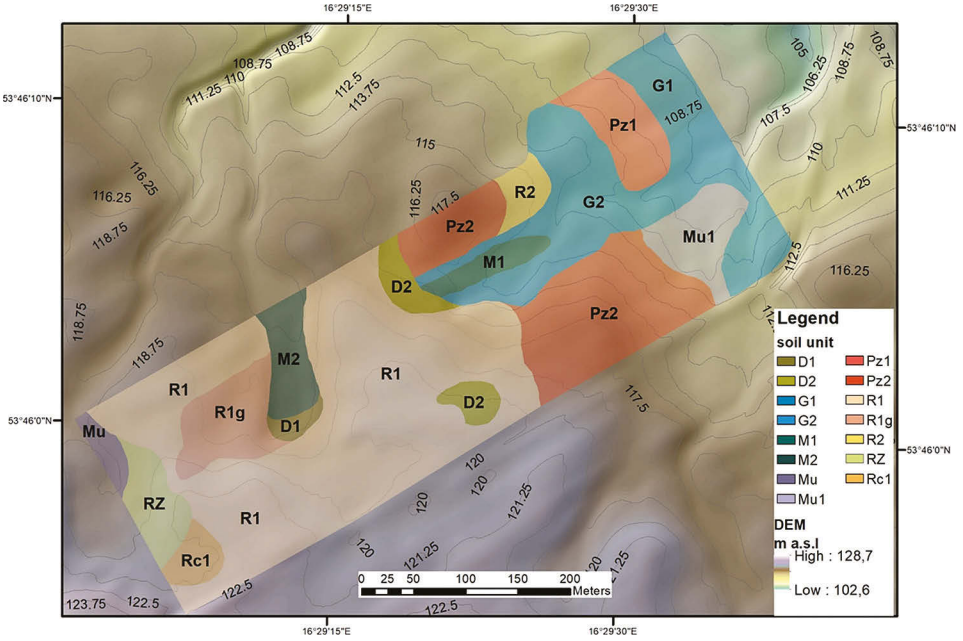
Ryc. 4.2.3. Numeryczny model rzeźby zlewni rzecznej/jeziornej. Przykład ze SB Parsęta (Szpikowski i in. 2018)



Ryc. 4.2.4. Mapa geologiczna zlewni rzecznej/jeziornej. Przykład ze SB Beskid Niski (Kijowska-Strugała i in. 2020)

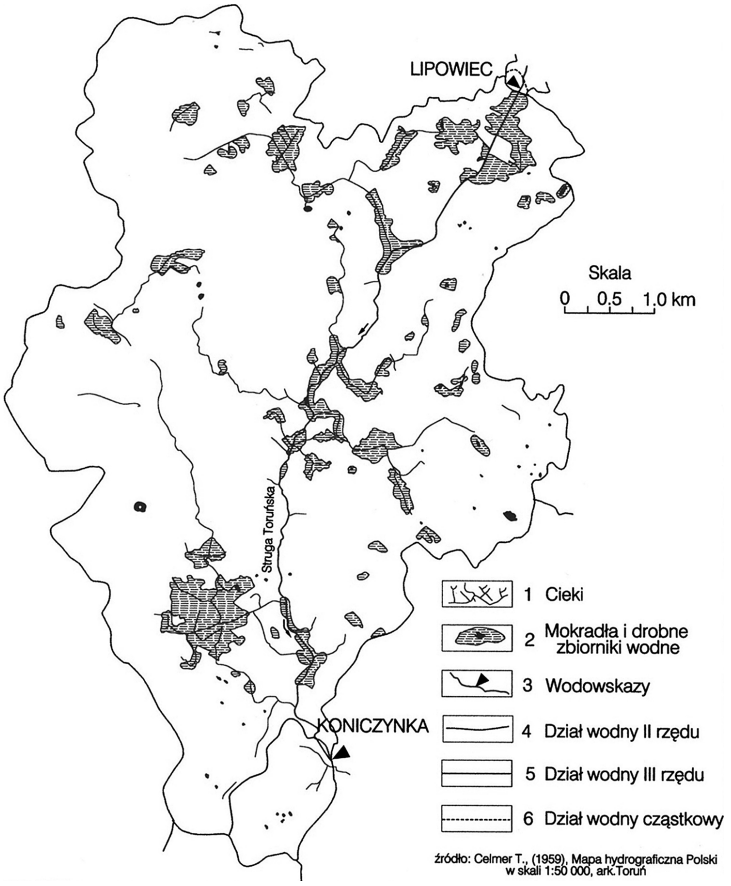


Ryc. 4.2.5. Mapa geomorfologiczna zlewni rzecznej/jeziornej. Przykład ze SB Poznań-Morasko (autor: M. Stefaniak na podstawie Hildebrandt-Radke 2016)

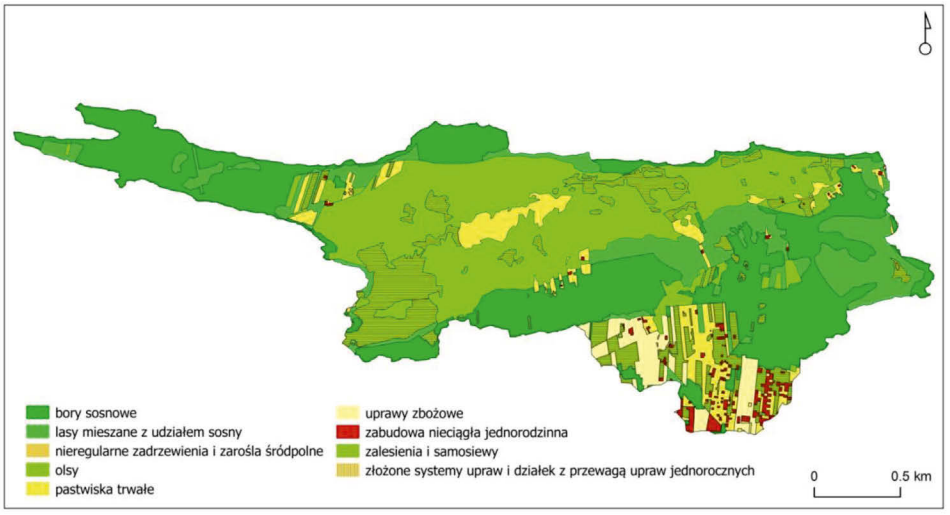


Ryc. 4.2.6. Mapa glebowa powierzchni testowej w zlewni Chwalimskiego Potoku, górna Parsęta (autorzy: J. Komisarek, J. Marcinek, M. Kozłowski)

Pz – gleby płowe zaciekowe gruntowo-glejowe; Pz1 – piaski słabo gliniaste średnio głębokie (50–100 cm) zalegające na glinie; Pz2 – piaski gliniaste lekkie płytkie (40–80 cm) zalegające na glinie; R – gleby rdzawe właściwe; R1 – piaski słabo gliniaste płytkie zalegające na piasku luźnym; R1g – jw. oglejone na głębokości 50–100 cm; R2 – piaski gliniaste lekkie płytkie zalegające na piasku luźnym; Rc – gleby ochrowe; Rc1 – piaski gliniaste lekkie głębokie; G – gleby gruntowo-glejowe właściwe; G1 – piaski gliniaste lekkie płytkie zalegające na piasku luźnym; G2 – piaski gliniaste lekkie średnio głębokie zalegające na glinie; M – kompleks gleb torfowo-murszowych i murszowych mułowych; M1 – torfy mocno rozłożone (R3) zamulone, różnej miąższości (od 40 do 80 cm) zalegające na piasku luźnym; M2 – torfy mocno rozłożone (R3) zamulone, płytkie do średnio głębokich (40–100 cm) zalegające na piasku luźnym; Mu – kompleks gleb murszowatych i murszastych; Mu1 – piaski gliniaste mocne średnio głębokie zalegające na glinach

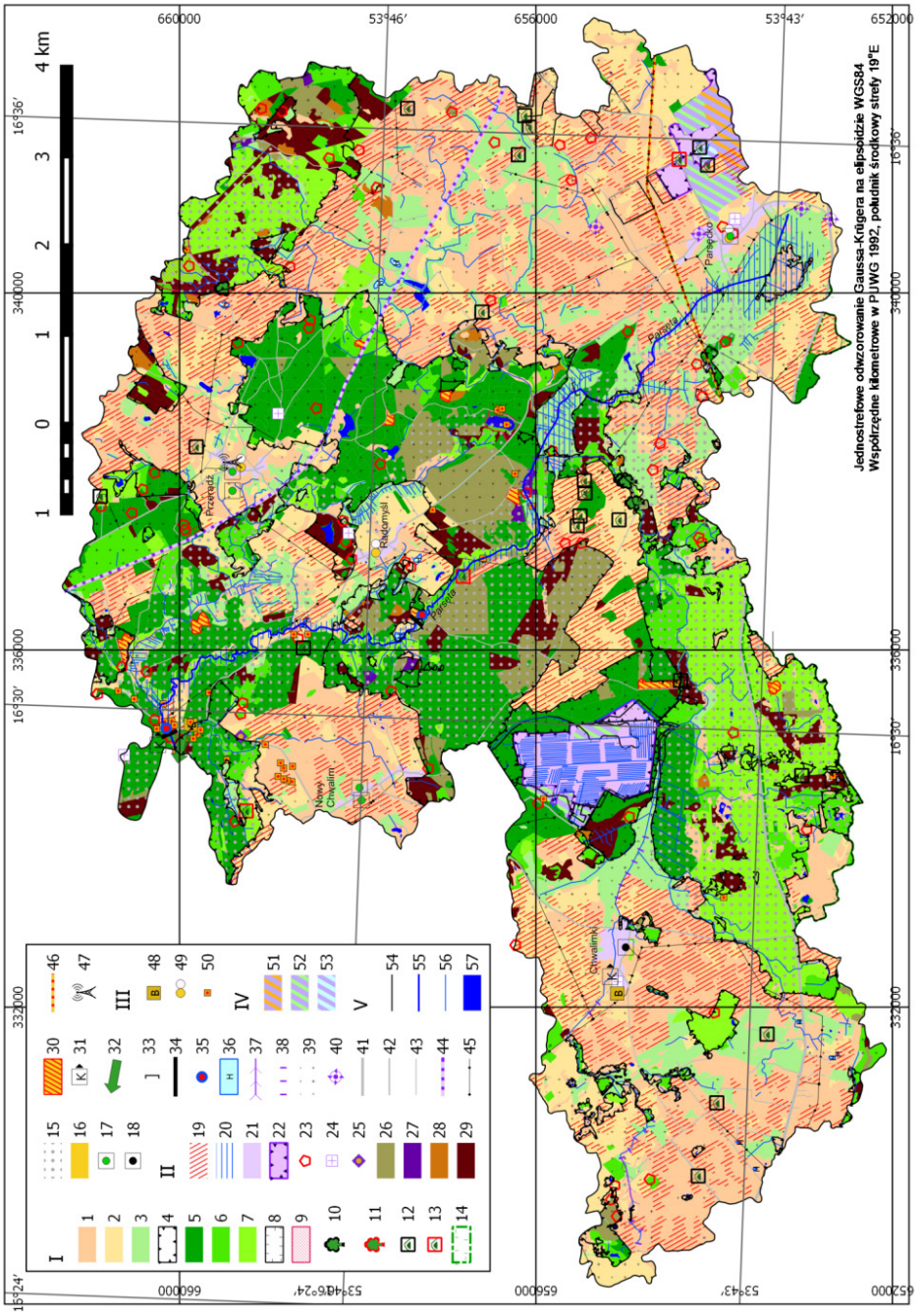


Ryc. 4.2.7. Mapa hydrograficzna zlewni rzecznej/jeziornej. Przykład ze SB Pojezierze Chełmińskie



Ryc. 4.2.8. Mapa pokrycia terenu i użytkowania ziemi zlewni rzecznej/jeziornej. Przykład ze SB Kampinos (Olszewski, Andrzejewska 2020)

Ryc. 4.2.9. Mapa geosozologiczna zlewni rzecznej/jeziornej. Przykład ze SB Parsęta (Gozdur, Szpikowski 2017)
I – formy ochrony środowiska: 1 – grunty orne ochronne, 2 – grunty orne pozostałe, 3 – użytki zielone, 4 – lasy ochronne, 5 – lasy iglaste gospodarcze, 6 – lasy mieszane gospodarcze, 7 – lasy liściaste gospodarcze, 8 – złoża surowców: K – mineralnych, T – organicznych, 9 – projektowane rezerwaty przyrody, 10 – pomniki przyrody ożywionej, 11 – pomniki przyrody nieożywionej, 12 – proponowane pomniki przyrody ożywionej, 13 – proponowane pomniki przyrody nieożywionej, 14 – obszary chronionego krajobrazu, 15 – siedliska Natura 2000, 16 – zalewy bobrowe, 17 – ujęcia wód, 18 – nieczynne ujęcia wód; II – degradacja środowiska: 19 – grunty orne podatne na denudację naturogeniczną i uprawową, 20 – grunty narażone na zalewy, 21 – grunty antropogeniczne obszarów zabudowanych, 22 – wyrobiska i zwałowiska, 23 – deformacje poeksploatacyjne, 24 – cmentarze, 25 – nielegalne składowiska odpadów, 26 – lasy uszkodzone przez owady, 27 – lasy uszkodzone przez warunki klimatyczne, 28 – lasy uszkodzone przez grzyby, 29 – lasy uszkodzone przez zwierzęta, 30 – zręby, 31 – zrzuty ścieków komunalnych, 32 – punkty badania jakości wód, 33 – zastawki, 34 – jazy, 35 – elektrownie wodne, 36 – stawy hodowlane, 37 – utrata więzi hydraulicznej cieków, 38 – przekształcone koryta cieków, 39 – grunty podatne na infiltrację zanieczyszczeń, 40 – emitory wibracji i hałasu, 41 – drogi wojewódzkie, 42 – drogi powiatowe, 43 – drogi gminne i inne, 44 – koleje, 45 – linie energetyczne, 46 – gazociągi, 47 – maszty telekomunikacyjne; III – przeciwdziałanie degradacji środowiska: 48 – oczyszczalnie ścieków, 49 – miejscowości z kanalizacją, 50 – stanowiska monitoringu środowiska; IV – rekultywacja środowiska: 51 – rekultywacje rolne, 52 – rekultywacje leśne, 53 – rekultywacje wodne; V – oznaczenia uzupełniające: 54 – wododział zlewni górnej Parsęty, 55 – Parsęta, 56 – pozostałe cieki, 57 – zbiorniki wodne


Jednostrefowe odwzorowanie Gaussa-Krügera na elipsoidzie WGS84
Współrzędne kilometrowe w PUWG 1992, południk środkowy strefy 19°E
4 km
1 0 1 2 3
660000
656000
652000
53°46′
53°43′
16°36′
16°30′
16°24′
340000
336000
332000
Przeradź
Radomyśl
Parsęta
Nowy Chwalim
Chwalimki
I
II
III
IV
V

Literatura

Bochenek W., Kijowska-Strugała M., Kiszka K., 2018. Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemu zlewni Bystrzanki. W: A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), Stan i przemiany środowiska przyrodniczego Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 359–390.

Gozdur D., Szpikowski J., 2017. Wykorzystanie mapy sozologicznej w Zintegrowanym Monitoringu Środowiska Przyrodniczego na przykładzie zlewni górnej Parsęty. Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 19(1): 19–27.

Hildebrandt-Radke I., 2016. Środowisko geograficzne Poznania. W: M. Kara, M. Makohonienko, A. Michałowski (red.), Przemiany osadnictwa i środowiska przyrodniczego Poznania i okolic od schyłku starożytności do lokacji miasta. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 23–46.

Kejna M., Uscka-Kowalkowska J., 2018. Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemu zlewni Strugi Toruńskiej. W: A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), Stan i przemiany środowiska przyrodniczego Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 193–235.

Kijowska-Strugała M., Bochenek W., Ptaszek E., 2020. Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Beskid Niski w 2019 roku. Szymbark: 1–210.

Kostrzewski A., 1986. Zastosowanie teorii funkcjonowania geosystemu do badań współczesnych środowisk morfogenetycznych obszarów nizinnych Polski Północno-Zachodniej. Spraw. PTPN, 103: 26–28.

Kostrzewski A., 1993. Geoekosystem obszarów nizinnych. Koncepcja metodologiczna. W: A. Kostrzewski (red.), Geoekosystem obszarów nizinnych. Ossolineum, Wrocław. Kom. Nauk. „Człowiek i Środowisko", Zesz. Nauk., 6: 11–17.

Kostrzewski A., 1994. Organizacja i założenia Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego oraz jego znaczenie w systemie ochrony przyrody w Polsce. W: R. Siwecki (red.), Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. PAN, Kórnik.

Kostrzewski A., 1995a. Stan i perspektywy rozwoju Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Polsce. W: A. Kowalkowski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geoekosystemów. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 9–15.

Kostrzewski A., 1995b. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – cele, założenia, zadania. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Propozycje programowe. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 7–22.

Kostrzewski A., 1996. Pożądany model funkcjonowania monitoringu środowiska przyrodniczego w Polsce. W: A. Kostrzewski, L. Pawłowski (red.), Główne problemy monitoringu w Polsce. Kom. Nauk. „Człowiek i Środowisko", Zesz. Nauk., 16: 7–27.

Kostrzewski A., 1997. ZMŚP i jego znaczenie w rozpoznaniu i ochronie struktury krajobrazowej Polski. W: A. Kostrzewski, L. Pawłowski (red.), Główne problemy monitoringu w Polsce. Zeszyty Naukowe, Lublin, 20.

Kostrzewski A., 2016. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – powstanie i rozwój, znaczenie w rozpoznawaniu i ocena współczesnych przemian krajobrazowych. W: A. Kostrzewski, J. Szpikowski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska

Przyrodniczego. Funkcjonowanie, tendencje rozwoju, zagrożenia i ochrona środowiska przyrodniczego Polski. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Storkowo: 11–18.

Kostrzewski A., 2017. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – 25 lat realizacji programu, znaczenie poznawcze i aplikacyjne W: M. Kejna, J. Uscka-Kowalkowska (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie środowiska przyrodniczego Polski w warunkach globalnych zmian klimatu. Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń: 11–33.

Kostrzewski A., 2018. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – organizacja i realizacja programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w latach 2019–2023. W: W. Bochenek, M. Kijowska-Strugała (red.), Ocena funkcjonowania i kierunków zmian środowiska przyrodniczego Polski na podstawie wieloletnich badań stacjonarnych. Biblioteka Monitoringu Środowiska, 32, Szymbark.

Kostrzewski A., 2020. Indywidualność przedmiotowa Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego – program realizacji na lata 2021–2025. W: A. Olszewski, A. Andrzejewska (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Aktualny stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemów jako cecha wskaźnikowa zmian klimatu. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 9–21.

Kostrzewski A., Majewski M. (red.), 2018. Stan i przemiany środowiska przyrodniczego Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A., 1995. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji i system pomiarowy, wybrane metody badań. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa: 1–255.

Kostrzewski A., Stach A., 1992. Stacje terenowe monitoringu środowiska przyrodniczego w Polsce: lokalizacja, profil, zakres badań. W: Stacje terenowe Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Polsce: 3–11.

Krzysztofiak L., 2018. Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemu zlewni Czarnej Hańczy. W: A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), Stan i przemiany środowiska przyrodniczego Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 161–192.

Major M., Marciniak M., Kolendowicz L., Chmiel J., Celka Z., Chudzińska M., Majewski M., Kruszyk R., Półrolniczak M., Okońska M., Zięba M., Wolny F., Czuchaj A., 2020. Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Poznań-Morasko w 2019 roku. Poznań: 1–155.

Olszewski A., Andrzejewska A., 2020. Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej Kampinos w 2019 roku. Leszno k. Warszawy–Izabelin: 1–196.

Skotak K., Degórska A., Prządka Z., Białoskórska U., Typiak-Nowak D., Bratkowski J., 2018. Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemu zlewni jeziora Łękuk. W: A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), Stan i przemiany środowiska przyrodniczego Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 125–159.

Szpikowski J., Szpikowska G., Domańska M., Kruszyk R., Majewski M., 2018. Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemu zlewni górnej Parsęty. W: A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), Stan i przemiany środowiska przyrodniczego Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 75–123.

Tylkowski J., Samołyk M., Czyryca P., 2018. Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemu zlewni jeziora Gardno. W: A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), Stan i przemiany środowiska przyrodniczego Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 41–74.

5. Podstawy standaryzacji terenowych systemów pomiarowych

Marek Marciniak

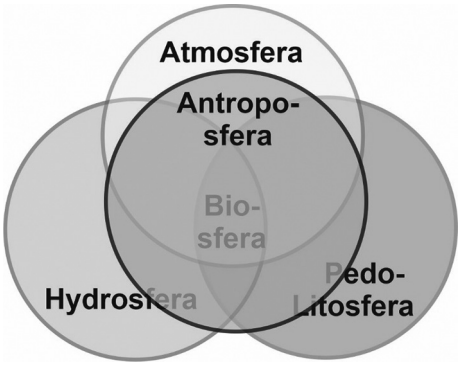
Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

5.1. Określenia i cele standaryzacji

Według „Słownika języka polskiego" pod redakcją prof. W. Doroszewskiego (2012) „standaryzacja ustalając cechy pożądane przez odbiorców, wpływa na podniesienie jakości towarów, umożliwia łatwe gatunkowanie i ułatwia obrót".

Na potrzeby Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP) określenie „standaryzacji" można by zmodyfikować następująco: „standaryzacja, ustalając zakres obserwacji niezbędny w ochronie środowiska, wpływa na podniesienie jakości pomiarów, umożliwia rozpoznanie funkcjonowania poszczególnych sfer, ułatwia porównywanie obserwacji z różnych punktów pomiarowych, a także ułatwia udostępnianie danych".

Jako sfery rozpoznania w Zintegrowanym Monitoringu Środowiska Przyrodniczego trzeba wymienić: atmosferę, hydrosferę, biosferę, pedosferę i litosferę oraz antroposferę (ryc. 5.1).



Ryc. 5.1. Sfery środowiska przyrodniczego

Standaryzacja jest często porównywana z normalizacją, która jest opracowaniem i wdrożeniem obowiązujących reguł, przepisów i norm w zakresie pewnych świadczeń. Różnica polega na tym, że standaryzacja ma zastosowanie w tylko jednej konkretnej organizacji lub organizacjach o podobnie zdefiniowanych celach i analogicznych procesach. Natomiast normalizacja dotyczy i może być wykorzystywana przez wiele różnych podmiotów gospodarczych.

Cele standaryzacji można sformułować następująco:

- ujednolicenie procedur i narzędzi w taki sposób, by niezależnie od miejsca ich wykonywania (czy też użytkowania) efekty były takie same (lub najbardziej zbliżone) dla każdego użytkownika;
- określenie schematu postępowania, co przekłada się na skuteczną kontrolę;
- eliminowanie niepewności, przez co wzrasta efektywność systemu;
- optymalizacja kosztów (fundusze nie są przeznaczone na działania mało efektywne).

5.2. Zalety i wady standaryzacji

Do zalet standaryzacji można zaliczyć:

- usprawnienie procesów koncepcyjnych i wykonawczych;
- wzrost wskaźnika efektywności poprzez eliminację czynności zbędnych;
- zmniejszenie kosztów poprzez zmniejszenie działań nieprzydatnych;
- łatwość i skuteczność w przeprowadzaniu kontroli;
- wzrost jakości i wiarygodności.

Jako mankamenty standaryzacji należy wymienić:

- zanik inicjatywy w poszukiwaniu rozwiązań nieszablonowych;
- pogorszona skuteczność szybkiego reagowania na coraz szybciej zachodzące zmiany w środowisku.

5.3. Podstawowe poziomy standaryzacji

Ze względu na stopień ujednolicenia poszczególnych elementów standaryzowanego procesu można wyróżnić pięć poziomów standaryzacji.

Poziom 1 – Brak regulacji

- Realizacja procesu nie jest objęta regulacją.
- Pełna swoboda realizacji procesu przez jego wykonawców.
- Bardzo duża możliwość różnicowania sposobów działania.

Poziom 2 – Regulacja oparta na zasadach działania

- Niewielki zakres regulacji działania – wykonawcy są zobowiązani jedynie do przestrzegania ogólnych zasad realizacji procesu.
- Bardzo duża swoboda kształtowania sposobu realizacji procesu, pod warunkiem uwzględnienia określonych zasad działania.

- Duża możliwość różnicowania sposobów działania.

Poziom 3 – Regulacja ramowa

- Średni zakres regulacji działania – wykonawcy są zobowiązani do przestrzegania schematu realizacji procesu.
- Średni zakres swobody realizacji procesu w ramach wyznaczonego ogólnego schematu jego realizacji.
- Średnia możliwość różnicowania sposobów działania.

Poziom 4 – Szczegółowa regulacja alternatywna

- Duży zakres regulacji działania – wykonawcy są zobowiązani do postępowania zgodnie ze szczegółowymi schematami realizacji procesu.
- Mały zakres swobody wyboru alternatywnych dróg realizacji procesu.
- Niewielka możliwość różnicowania sposobów działania.

Poziom 5 – Szczegółowa regulacja tzw. sztywna

- Pełny zakres regulacji działania – wykonawcy są zobowiązani do postępowania zgodnie ze szczegółowym i z jednoznacznym schematem realizacji.
- Brak swobody działania.
- Brak możliwość różnicowania sposobów działania.

W Zintegrowanym Monitoringu Środowiska Przyrodniczego standaryzacji mogą podlegać:
- programy pomiarowe;
- aparatura pomiarowa i stanowiska obserwacyjne;
- częstotliwość wykonywania pomiarów;
- metody poboru i transportu próbek wody i gruntów;
- zakres i metodyka wykonywania analiz fizykochemicznych;
- gromadzenie i udostępnianie danych.

5.4. Standaryzacja programów pomiarowych

Program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego został zaprojektowany do realizacji monitoringu funkcjonowania geoekosystemów. Pod względem metodologicznym program ZMŚP opiera się na koncepcji funkcjonowania systemu, realizuje założenia zachowania georóżnorodności i bioróżnorodności. Podstawowym obiektem badań w ZMŚP jest zlewnia rzeczna lub jeziorna, w zasięgu której zlokalizowane są testowe powierzchnie badawcze. Podstawą realizacji programu ZMŚP jest dobrze zorganizowany system pomiarowy w Stacjach Bazowych oraz sprawny system informatyczny.

Porównanie programów pomiarowych IM oraz ZMŚP przeprowadzono w dwóch grupach dotyczących geosfery (tab. 5.1) oraz biosfery (tab. 5.2).

Tabela 5.1. Porównanie programów pomiarowych IM oraz ZMŚP w zakresie geosfery

IM		ZMŚP	
Kod	Program	Kod	Program
AM	Meteorology	A1	Meteorologia
AC	Air Chemistry	B1	Zanieczyszczenie powietrza
PC	Precipitation chemistry	C1	Chemizm opadów atmosferycznych
TF	Throughfall	C2	Chemizm opadu podkoronowego
SF Opt.	Stemflow	C3	Chemizm spływu po pniach
		D1	Metale ciężkie i siarka w porostach
MC Opt.	Metal chemistry of mosses	D2	Metale ciężkie i siarka w mchach
SC	Soil chemistry	E1	Gleby
SW	Soil water chemistry	F1	Chemizm roztworów glebowych
GW Opt.	Groundwater chemistry	F2	Wody podziemne
FC	Foliage chemistry		
LF	Litterfall chemistry	G2	Chemizm opadu organicznego
RW	Runoff water chemistry	H1	Wody powierzchniowe – rzeki
LC Opt.	Lake water chemistry	H2	Wody powierzchniowe – jeziora

Tabela 5.2. Porównanie programów pomiarowych IM oraz ZMŚP w zakresie biosfery

IM		ZMŚP	
Kod	Program	Kod	Program
RB Opt.	Hydrobiology of streams		
LB Opt.	Hydrobiology od lakes		
FD Opt.	Forest damage	K1	Uszkodzenia drzew i drzewostanów
VG	Vegetation (intensive plot)	J2	Struktura i dynamika szaty roślinnej
BI Opt.	Tree bioelements and tree indication		
VS Opt.	Vegetation structure and species cover		
EP	Trunk epiphytes		
AL Opt.	Aerial green algae		
MB Opt.	Microbial decomposition		
TA Opt.	Toxicity assessment		
BB Opt.	Inventory of birds		
PH Opt.	Phenological observations		
		I1	Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego
		J3	Monitoring gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – rośliny

Warto zwrócić uwagę, że w programach IM dotyczących geosfery występują cztery programy opcjonalne, co zaznaczono skrótem Opt. obok kodu programu w pierwszej kolumnie obu tabel. Natomiast w tej grupie programów ZMŚP

wszystkie programy pomiarowe są obligatoryjne. Niewielką niezgodność odnotowano w zakresie badania chemizmu aparatu asymilacyjnego (FC), które występuje w programie IM, natomiast nie występuje w programie ZMŚP.

Nieco bardziej zróżnicowaną sytuację można zauważyć w grupie programów dotyczących biosfery. W systemie IM dziesięć z dwunastu programów dotyczących biosfery ma charakter opcjonalny. W systemie ZMŚP są cztery programy pomiarowe, ale wszystkie są obligatoryjne.

Dostosowanie programów pomiarowych ZMŚP do standardu IM wymagać będzie uzupełnienia niektórych programów w zakresie biosfery.

5.5. Standaryzacja aparatury pomiarowej i stanowisk obserwacyjnych

Ogólnie rozumiany tor pomiarowy można przedstawić w formie schematu blokowego pokazanego na rycinie 5.2.

Ryc. 5.2. Schemat blokowy toru pomiarowego
X(t) – sygnał wejściowy, którym środowisko oddziałuje na układ pomiarowy; Y(t) – sygnał wyjściowy, wypracowany przez układ pomiarowy

Każdy z bloków toru pomiarowego może podlegać standaryzacji. W przypadku standaryzacji **układów pomiarowych** trzeba brać pod uwagę następujące parametry:

- zakres wielkości mierzonej (minimum i maksimum zakresu pomiarowego);
- charakter sygnału wyjściowego (analogowy, cyfrowy);
- sposób zasilania (pobór mocy, źródło energii, czas pracy, ...);
- warunki otoczenia (temperatura, wilgotność, klasa izolacji elektrycznej, odporność na przebywanie w wodzie, ...).

Szybki rozwój technologii informatycznych otwiera nieograniczone możliwości przekazywania sygnałów pomiarowych na odległość, czyli dobór odpowiednich łączy. Nie ma przeszkód technicznych dla przekazywania wyników pomiarów bezpośrednio ze stanowiska badawczego w terenie do wspólnego serwera, który pełniłby rolę centralnego **rejestratora**. Taki kierunek rozwoju systemów pomiarowych ZMŚP wymagałby jednak znacznych nakładów finansowych na zakupy aparaturowe.

Dotychczasowe prace związane z planowaniem zakupów aparaturowych doprowadziły do wypracowania standardu minimalnego wyposażenia aparaturowego dla wszystkich Stacji Bazowych ZMŚP. Poniżej przedstawiono projekt wykazu aparatury stanowiącej standard podstawowego wyposażenia Stacji Bazowej.

1. Posterunek meteorologiczny

- deszczomierz Hellmanna 1,0 lub 1,5 m n.p.t,

- deszczomierz korytkowy,
- kolektory opadu, otwarte (2 szt.) – standaryzowana konstrukcja systemu ZMŚP,
- ewaporometr basenowy GGI 3000,
- ewaporometr Wilda w standaryzowanej osłonie na wysokości 50 cm n.p.t.,
- klatka meteorologiczna,
- stacja meteorologiczna MILOS 500 wyposażona w czujniki:
  - zintegrowany termohigrometr umieszczony w standardowej klatce meteorologicznej na wysokości 2 m n.p.t.,
  - anemorumbometr akustyczny umieszczony na maszcie na wysokości 10 m n.p.t.,
  - heliograf elektroniczny, umieszczony na maszcie,
  - zestaw aktynometryczny: całkowite promieniowanie słoneczne, promieniowanie odbite oraz 2 pyranometry skierowane ku niebu i ku ziemi (dla bilansu promieniowania długofalowego),
  - termometry elektroniczne do pomiaru temperatury gruntu na głębokościach: 5; 10; 20; 50; 100 cm p.p.t. oraz 5 cm n.p.t. umieszczone na poletku pozbawionym roślinności,
  - termometr do pomiaru temperatury powietrza na wysokości 2 m n.p.t.,
- alternatywnie stacja pogodowa DAVIS Vantage Pro2, dla zabezpieczenia ciągłości pomiarów, wyposażona w:
  - deszczomierz korytkowy,
  - higrotemometr,
  - anemometr,
  - czujnik nasłonecznienia,
  - czujnik UV,
- bilansomierz do kontrolowania bilansu energii słonecznej.

2. Przekrój hydrometryczny zamykający zlewnię cząstkową

- łata wodowskazowa,
- *diver* typu DT w rurce piezometrycznej, współpracujący z *barodiverem*,
- przelew mierniczy,
- młynek hydrometryczny (mechaniczny, elektromagnetyczny lub akustyczny) niezbędny do wyznaczania krzywej konsumcyjnej.

3. Piezometry

- każdy piezometr wyposażony w *diver* typu DT współpracujący z *barodiverem*.

4. Laboratorium

- chłodziarka laboratoryjna dwukomorowa,
- multimetry CX-742, CX-701 lub CX-705 ELMETRON,
- miernik wieloparametryczny CC-401 lub CPC-401 ELMETRON (pH, SEC, DO).

5. Poletko opadu podkoronowego

- standaryzowane kolektory spływu po pniach (5 szt.),
- standaryzowane kolektory opadu podkoronowego (10 szt.),
- standaryzowane kolektory opadu organicznego (15 szt.).

5.6. Standaryzacja częstotliwości wykonania pomiaru

Częstotliwość wykonywania pomiarów zależy w największym stopniu od tempa zmienności obserwowanych procesów. Z tego względu w każdym z programów pomiarowych ZMŚP konieczne było wypracowanie takiej częstotliwości wykonywania pomiarów, która najlepiej oddaje zmienność badanego procesu. Byłoby bardzo pożądane, aby wszystkie Stacje Bazowe ZMŚP dopracowały się jednolitych standardów w zakresie częstotliwości wykonywania pomiarów dla poszczególnych programów pomiarowych.

5.7. Standaryzacja metod poboru i transportu próbek wody i gruntów

W zakresie standaryzacji metod poboru i transportu próbek wody i gruntów system ZMŚP dopracował się wielu własnych standardów, które zostały opisane w wytycznych do realizacji poszczególnych programów. Dotyczy to w szczególności prawie wszystkich programów pomiarowych obejmujących geosferę, takich jak:

- Chemizm opadów atmosferycznych (C1),
- Chemizm opadu podkoronowego (C2),
- Chemizm spływu po pniach (C3),
- Metale ciężkie i siarka w porostach (D1),
- Metale ciężkie i siarka w mchach (D2),
- Gleby (E1),
- Chemizm roztworów glebowych (F1),
- Wody podziemne (F2),
- Chemizm opadu organicznego (G2),
- Wody powierzchniowe – rzeki (H1),
- Wody powierzchniowe – jeziora (H2).

W każdym z tych programów standaryzacja obejmuje takie zagadnienia, jak:

- urządzenia do poboru próbek wody, gruntów, roślin, opadu organicznego;
- naczynia do poboru i transportowania próbek wody, gruntów, roślin, opadu organicznego;
- sposób utrwalenia próbek wody, gruntów, roślin, opadu organicznego;
- warunki transportu i przechowywania próbek wody, gruntów, roślin, opadu organicznego.

5.8. Standaryzacja zakresu i metodyki wykonywania analiz fizykochemicznych

Standaryzacja zakresu i metodyki wykonywania analiz fizykochemicznych jest w największym stopniu zagadnieniem organizacyjnym i finansowym. Możliwe są tutaj dwie koncepcje:

- Wytypowana część oznaczeń wykonywana jest przez laboratoria posiadające akredytacje na oznaczanie poszczególnych zanieczyszczeń. Oznaczanie pozostałych zanieczyszczeń, a także analizy realizowane w ramach programów specjalistycznych wykonywane są w laboratoriach Stacji Bazowych.
- Wszystkie oznaczenia wykonywane są w laboratoriach poszczególnych Stacji Bazowych.

W przypadku pierwszej koncepcji dylemat wymaga podjęcia decyzji o tym, jaka część analiz fizykochemicznych powinna być realizowana przez laboratoria akredytowane, a które analizy mogą być wykonywane w laboratoriach poszczególnych Stacji Bazowych. Akredytowane wyniki analiz fizykochemicznych podniosłyby ich wiarygodność, a ponadto znacząco ułatwiłyby publikowanie wyników w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Jednakże koszty wykonania analityki fizykochemicznej w akredytowanym laboratorium będą wyższe. Ponadto kierowanie jakiegoś pakietu próbek do oznaczeń w zewnętrznym laboratorium będzie skutkować dodatkowymi kosztami transportu.

W przypadku drugiej koncepcji laboratoria poszczególnych Stacji Bazowych będą wymagały uzupełnienia wyposażenia aparaturowego, co także wiąże się z dodatkowymi kosztami.

W ramach ZMŚP podjęto decyzję o realizacji pierwszej koncepcji, z wykonywaniem analiz chemicznych w laboratoriach akredytowanych. Szczegółowe zasady standaryzacji analiz chemicznych zostały opisane w rozdziale 8 niniejszego opracowania.

5.9. Standaryzacja gromadzenia i udostępniania danych

Na obecnym etapie rozwoju systemu ZMŚP baza danych z wieloletnich obserwacji terenowych gromadzona jest w wersji elektronicznej za pomocą arkuszy kalkulacyjnych EXCEL. Cyfrowa forma gromadzenia i przechowywania danych otwiera nieograniczone możliwości ich konwertowania do innych formatów oraz transmisję danych do innych baz danych. W zakresie gromadzenia i udostępniania danych system ZMŚP może zostać łatwo przystosowany do współpracy z danymi gromadzonymi w innych standardach.

5.10. Uwagi końcowe

Standaryzacja systemów pomiarowych ma podstawowe znaczenie dla jakości, wiarygodności i porównywalności obserwacji wykonywanych w poszczególnych Stacjach Bazowych.

Ze względu na ogromną podaż układów pomiarowych, łącz i urządzeń rejestrujących, standaryzacja systemów pomiarowych ZMŚP będzie wymagała optymalizacji wielokryterialnej.

Po dyskusjach w gronie specjalistów zaproponowano standard wyposażenia aparaturowego Stacji Bazowej ZMŚP. Każda stacja powinna uzupełnić wyposażenie standardowe stosownie do własnych programów specjalistycznych.

Standaryzacja wyposażenia aparaturowego poszczególnych Stacji Bazowych będzie wymagała odpowiednich nakładów finansowych, co w obecnych realiach może znacząco wydłużyć w czasie proces standaryzowania aparatury, który trzeba będzie zaplanować etapowo.

Literatura

Doroszewski W., 2012. Słownik języka polskiego. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.

Gołuch-Trojanek K., Rostek K., 2017. Standaryzacja procesów i jej rola w procesie wdrażania zintegrowanych systemów informatycznych w instytucjach publicznych (na przykładzie uczelni publicznej). Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 9.

Łunarski J., 2014. Normalizacja i standaryzacja. Oficyna Wyd. Politechniki, Rzeszów.

Marciniak J., 2006. Standaryzacja procesów zarządzania personelem. Oficyna Ekonomiczna, Kraków.

Zbyrad B., Paletko P., Brzózka A. (https://mfiles.pl/pl/index.php/Standaryzacja; dostęp: 11.10.2020).

6. Programy pomiarowe Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

6.1. Program A1 – Meteorologia

Marek Kejna

Katedra Meteorologii i Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

6.1.1. Wprowadzenie, cel pomiarów

Realizacja podstawowego celu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP), jakim jest analiza obiegu energii i materii na terenie zlewni reprezentatywnej (Kostrzewski 2018), wymaga ciągłych i systematycznych obserwacji, w tym pomiarów meteorologicznych. Powinny być one prowadzone z zachowaniem standardów Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ) i International Cooperative Programme on Integrated Monitoring (ICP IM) zgodnych z zaleceniami Światowej Organizacji Meteorologicznej (Guide to Meteorological… 2014) oraz Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB (Instrukcja dla stacji meteorologicznych 2014). W opracowaniu wzorowano się na wcześniejszych metodykach stosowanych w programie ZMŚP (Kostrzewski i in. 1995, 2006).

Warunki meteorologiczne i klimatyczne wywierają istotny wpływ na funkcjonowanie i przemiany zachodzące w geoekosystemach. Czynniki atmosferyczne istotnie oddziałują na procesy abiotyczne i biotyczne zachodzące w środowisku. Konieczny jest stały monitoring dopływającej i uchodzącej energii (bilansu radiacyjnego i cieplnego) oraz materii wnoszonej przez opady atmosferyczne czy też wiatr. Atmosfera jest najbardziej dynamicznym i zmiennym elementem środowiska, funkcjonuje w rytmie dobowym i sezonowym, występują również wieloletnie fluktuacje klimatu. W ostatnich latach zaznacza się wzrost temperatury powietrza na kuli ziemskiej, w tym również w Polsce (KLIMADA 2020). Wieloletnie serie pomiarów meteorologicznych w Stacjach Bazowych ZMŚP, położonych często z dala od ośrodków miejsko-przemysłowych, stanowią nieocenione źródło danych, niezbędnych do badań nad zmiennością klimatu. Dzięki wieloletnim badaniom możliwe będzie wyznaczenie wartości progowych dla ekstremalnych zjawisk pogodowych i klimatycznych, a następnie określenie częstości ich występowania, w dalszej zaś kolejności opracowania prognoz i scenariuszy.

6.1.2. Zakres parametrów pomiarowych

Zakres pomiarów meteorologicznych zamieszczony w tabelach 6.1.1 i 6.1.2 wynika z zadań związanych z realizacją programu ZMŚP. Podstawowym źródłem energii dla geoekosystemów jest promieniowanie słoneczne. Promieniowanie to jest częściowo odbijane (decydują o tym właściwości podłoża – albedo), a częściowo

Tabela 6.1.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego A1 – Meteorologia

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka, dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania
Ciśnienie atmosferyczne (zredukowane do poziomu morza)	PRES	ZM	hPa, 1	pomiar ciągły/ średnia dobowa
Temperatura powietrza na 2 m	TA_D	ZM	°C, 1	pomiar ciągły/ średnia dobowa
Minimalna temperatura powietrza na 2 m	TA_N	ZM	°C, 1	pomiar ciągły/ minimalna dobowa
Maksymalna temperatura powietrza na 2 m	TA_X	ZM	°C, 1	pomiar ciągły/ maksymalna dobowa
Temperatura minimalna powietrza przy powierzchni gruntu (na 5 cm nad gruntem)	TA_G	ZM	°C, 1	pomiar ciągły/ minimalna dobowa
Temperatura gruntu na głębokościach 5, 10, 20 i 50 cm	T_S	ZM	°C, 1	pomiar ciągły/ średnia dobowa
Wilgotność względna powietrza na 2 m	HH	DB	%, 0	pomiar ciągły/ średnia dobowa
Wysokość opadów na 1 m	RR_T	ZM	mm, 1	1/dobę/suma dobowa
Prędkość wiatru na 10 m	WIV	DB	$m \cdot s^{-1}$, 1	pomiar ciągły/ średnia dobowa
Kierunek wiatru na 10 m	WID	DB	deg, 0–360	pomiar ciągły/ wartość średnia wektorowa
Grubość pokrywy śnieżnej	SC_H	ZM	cm, 0	1/dobę
Usłonecznienie	SOL_P	ZM	min, 0	pomiar ciągły/ suma dobowa
Natężenie promieniowania słonecznego	SOL_T	ZM	$W \cdot m^{-2}$, 1	pomiar ciągły/ średnia dobowa
Natężenie odbitego promieniowania słonecznego*	SOL_R	ZM	$W \cdot m^{-2}$, 1	pomiar ciągły/ średnia dobowa
Parowanie*	EVAP	ZM	mm	pomiar ciągły/ suma dobowa

* warunkowane zakupem sprzętu pomiarowego

Tabela 6.1.2. Parametry rozszerzone programu pomiarowego A1 – Meteorologia

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów/ czas uśredniania
Gęstość śniegu	SC_WC	ZM	$g \cdot cm^{-3}$, 2	1/dobę lub 5/dobę (podczas intensywnych opadów śniegu i w czasie intensywnego topnienia)
Czas trwania opadów w ciągu doby	RR_P	ZM	min, 0	rejestracja ciągła
Wysokość osadów atmosferycznych	FD_T	ZM	mm, 1	1/dobę/suma dobowa
Natężenie promieniowania UV-B	SOL_UVB	IM	$W \cdot m^{-2}$, 0	pomiar ciągły/ średnia dobowa
Natężenie promieniowania długofalowego ziemi	TER_RAD_L	ZM	$W \cdot m^{-2}$, 1	pomiar ciągły/ średnia dobowa
Natężenie promieniowania długofalowego atmosfery	ATM_RAD_L	ZM	$W \cdot m^{-2}$, 1	pomiar ciągły/ średnia dobowa
Fenologiczne i zoofenologiczne pory roku	FENO	ZM	opis i data dzienna wystąpienia zjawiska	obserwacje w charakterystycznych porach roku

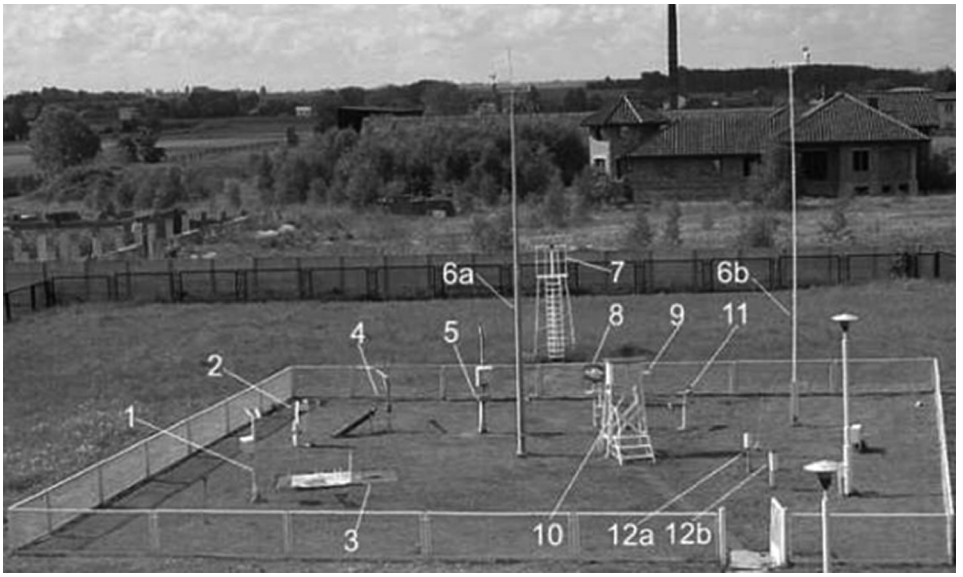
jest pochłaniane przez podłoże. Jednym z parametrów wskaźnikowych dopływającej energii słonecznej jest czas świecenia słońca – usłonecznienie. O zasobach pochłoniętego ciepła świadczy temperatura gruntu. Ciepło z podłoża ogrzewa powietrze w wyniku konwekcji, przewodnictwa molekularnego oraz na drodze utajonej. Temperatura powietrza mierzona jest w klatce meteorologicznej na wysokości 200 cm nad gruntem, ale istotne są także pomiary przy gruncie (5 cm) w celu uchwycenia przymrozków. Woda z powierzchni terenu, cieków, jezior, mórz i oceanów paruje, zasilając powietrze w parę wodną, z której tworzą się chmury oraz opady atmosferyczne i inne hydrometeory. Szczególną rolę w środowisku pełni pokrywa śnieżna, zmniejszająca zdolność pochłaniania promieniowania przez grunt (zwiększa albedo). Pokrywa śnieżna stanowi również rezerwuar wody, uwalniany w czasie jej topnienia. O dynamice atmosfery świadczą zmiany ciśnienia atmosferycznego oraz kierunek i prędkość wiatru. W stacjach, gdzie wykonywane są pomiary przez obserwatora, notowane są rodzaje chmur, wielkość zachmurzenia i zjawiska atmosferyczne, w tym zwłaszcza ekstremalne stanowiące zagrożenie dla środowiska, zdrowia i gospodarki człowieka.

6.1.3. Metodyka pomiarów meteorologicznych

6.1.3.1. Wymagania dla stanowisk pomiarowych

Pomiary i obserwacje stanu atmosfery powinny być wykonywane w ogródku meteorologicznym, który zakładany jest w miejscu reprezentatywnym dla badanej zlewni. Ogródek lokalizujemy na terenie otwartym, a najbliższe przeszkody (budynki, drzewa, las) nie powinny być bliżej niż pięciokrotna ich wysokość. Nie lokuje się ogródka w zagłębieniu terenu lub na wierzchołku wzgórza. Wybiera się powierzchnię płaską o wymiarach około 20 × 20 m. Zachowuje się naturalną roślinność, którą należy kosić, kiedy przekroczy 10 cm wysokości (skoszoną trawę suszy się poza ogródkiem). Teren należy ogrodzić białą siatką, o dużych oczkach, tak aby nie zaburzała przepływu powietrza. W ogródku można wytyczyć żwirowe wąskie ścieżki, ułatwiające dostęp do przyrządów.

Przyrządy należy zainstalować tak, aby nie zaburzały pracy innych urządzeń pomiarowych, np. poprzez rzucany cień, zaburzenia przepływu powietrza czy też przesłonięcie deszczomierza. Po południowej stronie ogródka instaluje się urządzenia do pomiarów promieniowania słonecznego (aktynometr, bilansomierz, heliograf) oraz poletko pomiaru temperatury gruntu. W przypadku konieczności posadowienia w ogródku kontenera należy go maksymalnie odsunąć od przyrządów pomiarowych. Przykładowy układ przyrządów przedstawiono na rycinie 6.1.1.



Ryc. 6.1.1. Przykładowy schemat rozmieszczenia przyrządów na terenie ogródka meteorologicznego

Objaśnienia: 1 – widzialnościomierz, 2 – miernik podstawy chmur, 3 – poletko do pomiaru temperatury gruntu, 4 – bilansomierz, 5 – stacja automatyczna, 6 – wiatromierze, 7 – heliograf, 8 – pyranometr, 9 – solarymetr, 10 – klatka meteorologiczna, 11 – aktynometr, 12 – deszczomierze

Źródło: http://www.instsani.pl.

Pomiary meteorologiczne wykonuje się według czasu uniwersalnego UTC, w głównych terminach synoptycznych, tzn. o godz.: 0:00, 6:00, 12:00 i 18:00. W Polsce są to godz.: 1:00, 7:00, 13:00 i 19:00 czasu zimowego oraz 2:00, 8:00, 14:00 i 20:00 czasu letniego. Przy rejestracji automatycznej stosuje się interwał co godzinę (lub częściej).

Zaleca się zakładanie dodatkowych stacji meteorologicznych, rejestrujących parametry atmosferyczne w środowiskach charakteryzujących się swoistym topoklimatem, np. w kompleksach leśnych, na polach uprawnych lub na terenach miejskich.

6.1.3.2. Pomiary elementów meteorologicznych

Ciśnienie atmosferyczne

Ciśnienie atmosferyczne może być mierzone tradycyjnymi barometrami lub też rejestrowane barometrami elektronicznymi. Wyniki pomiarów na poziomie stacji należy zredukować do poziomu morza. Większość stacji automatycznych po wprowadzeniu wysokości barometru nad poziom morza przelicza zarejestrowane wartości do poziomu morza. IMGW (Okólnik 4/SO/03) zaleca, aby do redukcji ciśnienia do poziomu morza stosować wzór:

$$p_{0\mathrm{m}} = p_s \frac{H_b}{\mathrm{e}^{7996 + b \cdot H_b + 29{,}33\mathrm{t}}}$$

$p_{0\mathrm{m}}$ – ciśnienie atmosferyczne zredukowane do poziomu morza
p_s – ciśnienie atmosferyczne zmierzone na poziomie stacji
H_b – wysokość barometru
b – 0,0086°C
t – aktualna temperatura powietrza w °C

Temperatura powietrza

Pomiary temperatury powietrza wykonuje się w sposób automatyczny. Czujnik temperatury powinien być umieszczony w klatce meteorologicznej, co zapewnia ciągłość i porównywalność pomiarów ze standardowymi termometrami. Dopuszcza się stosowanie stacji automatycznych, w których czujnik temperatury jest umieszczony w osłonie antyradiacyjnej. Pomiary powinny być prowadzone w interwale cogodzinnym. Dla innych celów można zagęścić pomiary, np. co minutę lub co 10 minut. Maksima i minima dobowe powinny uwzględniać okres 0:01–24:00 UTC.

Jeżeli w stacji prowadzone są pomiary tradycyjne (manualne) temperatury, to wykonuje się je za pomocą termometrów umieszczonych w klatce meteorologicznej na wysokości 2 m n.p.g. (ryc. 6.1.2).

Manualne pomiary temperatury powietrza wykonuje się co godzinę, ale można je ograniczyć do 3 pomiarów na dobę o godz. 6:00, 12:00 i 18:00 UTC (do obliczenia średniej dobowej stosujemy wzór opisany w rozdziale 6.1.3.3). O godz. 6:00 UTC odczytuje się i redukuje termometr minimalny, a o godz. 18:00 UTC

termometr maksymalny. Do pomiarów temperatury przy gruncie stosuje się termometr minimalny umieszczony 5 cm n.p.g., w przypadku pokrywy śnieżnej należy regulować wysokość tego termometru, tak aby zachować 5 cm nad powierzchnią śniegu. Odczytuje się go o godz. 6:00 UTC.

Ryc. 6.1.2. Klatka meteorologiczna na Stacji Bazowej ZMŚP Pojezierze Chełmińskie w Koniczynce (fot. M. Kejna)

Ryc. 6.1.3. Poletko pomiarowe temperatury gruntu na Stacji Bazowej ZMŚP Pojezierze Chełmińskie w Koniczynce (fot. M. Kejna)

Temperatura gruntu

Temperatura gruntu powinna być mierzona na specjalnie przygotowanym poletku o wymiarach 2 × 4 m (dłuższy bok wzdłuż linii wschód–zachód) – ryc. 6.1.3. Powierzchnia powinna być pozbawiona roślinności, spulchniona po każdym opadzie atmosferycznym. Pokrywy śnieżnej nie usuwamy, powinna zalegać w nienaruszonej postaci.

Pomiary temperatury gruntu wykonuje się w sposób automatyczny co godzinę za pomocą termometrów elektronicznych zainstalowanych na głębokościach 5, 10, 20, 50 i 100 cm (często jest to zintegrowana sonda z zestawem termometrów). Na stacjach kontynuujących pomiary tradycyjne temperaturę gruntu mierzy się za pomocą termometrów kolankowych i wyciągowych o godz. 6:00, 12:00 i 18:00 UTC.

Wilgotność względna powietrza

Pomiary wilgotności powietrza wykonuje się w sposób automatyczny. Czujnik wilgotności, często zintegrowany z czujnikiem temperatury, powinien być umieszczony w klatce meteorologicznej. Pomiary powinny być prowadzone w interwale godzinnym. W przypadku pomiarów tradycyjnych (manualnych) wykonuje się je za pomocą psychrometru Augusta lub Assmanna, składającego się z termometrów suchego i zwilżonego, umieszczonych w klatce meteorologicznej na wysokości 2 m n.p.g. Pomiary wykonuje się co godzinę, ale można je ograniczyć do 3 pomiarów na dobę o godz. 6:00, 12:00 i 18:00 UTC. Wskazane jest wentylowanie psychrometru przed odczytem. Parametry wilgotności odczytuje się z tablic psychrometrycznych.

Opady atmosferyczne

Ryc. 6.1.4. Przyrządy pomiarowe na Stacji Bazowej ZMŚP Pojezierze Chełmińskie w Koniczynce: deszczomierz Hellmanna, deszczomierz stacji Milos 500, na drugim planie kolektor mokrego opadu oraz heliograf Campbella-Stockesa (fot. M. Kejna)

Pomiary opadów atmosferycznych są wykonywane różnymi metodami w sposób automatyczny lub tradycyjny z wykorzystaniem deszczomierza Hellmanna (ryc. 6.1.4). Przy pomiarach automatycznych najczęściej stosowana jest metoda korytkowa, dająca sygnały o wypełnieniu i opróżnieniu korytka określoną ilością wody opadowej. Należy kontrolować drożność wlotu wody w deszczomierzu oraz kalibrować pojemność korytka. Osad wypełniający korytko zmniejsza ilość wody niezbędną do opróżnienia korytka. Deszczomierz powinien być podgrzewany. Sumę opadu oblicza się z doby opadowej, tj. od 6:01 do 6:00 UTC i przypisuje się do dnia wcześniejszego. Pomiar z częstotliwością co minutę umożliwia obliczenie czasu trwania oraz intensywności opadu (w $mm \cdot min^{-1}$).

Tradycyjne pomiary opadów atmosferycznych wykonuje się deszczomierzem Hellmanna na otwartej przestrzeni na wysokości 1 m n.p.g. o godz. 6:00 UTC. Deszczomierz powinien być wypoziomowany. Zmierzoną specjalną menzurką ilość wody opadowej wyraża się w mm i przypisuje do dnia poprzedzającego. W przypadku braku menzurki ilość wody w cm^3 dzieli się przez powierzchnię wlotową deszczomierza (w przypadku d. Hellmanna jest to 200 cm^2), a następnie dzieli się przez 10. Wynik jest w mm. W razie zauważenia opadu w ciągu doby opadowej, ale braku wody w deszczomierzu zapisuje się 0,0 mm (opad śladowy), przy braku opadu stosuje się zapis w postaci kropki. W porze zimowej używamy 2 deszczomierzy. Deszczomierz ze śniegiem/lodem zastępuje się zapasowym na kolejną dobę, a ilość wody ze stopionego śniegu/lodu (w mm) mierzy się menzurką. Podaje się też rodzaj opadu. Na potrzeby ZMŚP wyróżniono: 1 – opad ciekły (deszcz lub mżawka), 2 – stały (śnieg, śnieg ziarnisty, krupa śnieżna, krupa lodowa, grad), 3 – mieszany (opady ciekłe i stałe).

Pokrywa śnieżna

Pokrywę śnieżną mierzy się o godz. 6:00 UTC. Przy pomiarach tradycyjnych należy ocenić stopień pokrycia terenu śniegiem – stosuje się takie określenia, jak: brak śniegu, pokrywa całkowita, pokrywa z przerwami, płaty śniegu, resztki śniegu. Pomiar grubości pokrywy śnieżnej wykonuje się na płaskiej powierzchni za pomocą łaty śniegowej, wynik podaje się w cm. W przypadku pokrywy o zmiennej miąższości należy wykonać kilka pomiarów, a wynik uśrednić.

Gęstość pokrywy śnieżnej (program rozszerzony) mierzy się za pomocą wagi śniegowej. Można też pobrać profil śniegu, a następnie po podzieleniu wagi

śniegu przez objętość uzyskuje się zawartość wody w pokrywie śnieżnej w g·cm^{-3} lub w kg·m^{-3}. Można też wyliczyć równoważnik wodny w śniegu oraz zapas wody w pokrywie śnieżnej w mm.

Kierunek i prędkość wiatru

Kierunek i prędkość wiatru mierzy się za pomocą czujników zainstalowanych na maszcie, na wysokości 10 m n.p.g. (ryc. 6.1.5). W pobliżu wiatromierza nie powinny się znajdować przeszkody zakłócające pomiar kierunku i prędkości wiatru, zaburzające przepływ powietrza (patrz lokalizacja ogródka meteorologicznego). Obecnie stosowane są wiatromierze elektroniczne, wskazujące kierunek i prędkość wiatru (anemorumbometry), stosujące różne zasady działania. Pomiar kierunku i prędkości powinien pochodzić z okresu 10-minutowego poprzedzającego pełną godzinę.

Kierunek wiatru można określić na podstawie wiatrowskazu na tle róży wiatrów 8- lub 16-kierunkowej. Przy wiatromierzach elektronicznych często wskazywany jest azymut kierunku wiatru względem północy w stopniach (tab. 6.1.3). W przypadku ciszy stosuje się literę C.

Średnia prędkość wiatru jest obliczana ze wskazań anemometru. Jest to wartość 10-minutowa lub godzinna, przyrząd może wskazywać maksymalną i minimalną prędkości wiatru. Za ciszę według definicji WMO (2014) przyjmuje się sytuacje z brakiem ruchu powietrza lub prędkością ≤0,2 m·s^{-1}.

Tabela 6.1.3. Kierunek wiatru i odpowiadający mu sektor w stopniach względem północy

Kierunek wiatru	Dolna granica [°]	Środkowy [°]	Górna granica [°]
N	347,76	0,0	11,25
NNE	11,26	22,5	33,75
NE	33,76	45,0	56,25
ENE	56,26	67,5	78,75
E	78,76	90,0	101,25
ESE	101,26	112,5	123,75
SE	123,76	135,0	146,25
SSE	146,26	157,5	168,75
S	168,76	180,0	191,25
SSW	191,26	202,5	213,75
SW	213,76	225,0	236,25
WSW	236,26	247,5	258,75
W	258,76	270,0	281,25
WNW	281,26	292,5	303,75
NW	303,76	315,0	326,25
NNW	326,26	337,5	348,75

Ryc. 6.1.5. Maszt z wiatromierzami na Stacji Bazowej ZMŚP Pojezierze Chełmińskie w Koniczynce (fot. M. Kejna)

Usłonecznienie

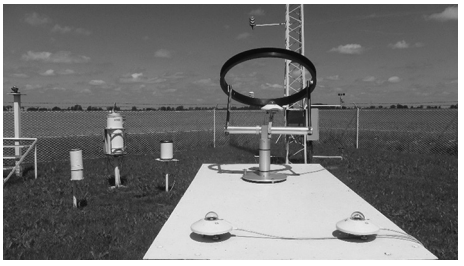
Usłonecznienie jest definiowane jako czas dopływu do powierzchni ziemi bezpośredniego promieniowania słonecznego o natężeniu co najmniej 120 $W \cdot m^{-2}$. Wyróżnia się usłonecznienie rzeczywiste, wyrażone w godzinach, jako suma dobowa, miesięczna, roczna oraz usłonecznienie względne, wyrażone w procentach, jako iloraz usłonecznienia rzeczywistego do usłonecznienia możliwego, ze względu na długość dnia lub też dodatkowo ukształtowanie terenu i obecność przeszkód terenowych. Usłonecznienie mierzy się na terenie o odkrytym horyzoncie. Jeżeli występują przeszkody, przyrząd rejestrujący należy umieścić na wieży lub dachu budynku (ryc. 6.1.4). Należy wykonać pomiar wysokości przeszkód na linii horyzontu.

Usłonecznienie rejestruje się za pomocą elektronicznych czujników usłonecznienia, działających na różnych zasadach. Przy pomiarach należy pamiętać o usuwaniu śniegu, szronu, szadzi, rosy, kropel deszczu ze szklanej kuli heliografu lub czujnika usłonecznienia. Niektóre przyrządy są podgrzewane, co rozwiązuje powyższy problem. Przyrządy elektroniczne zastąpiły heliograf Campbella-Stockesa, który rejestrował usłonecznienie jako długość wypalonego śladu na zaczernionych paskach papieru (heliogramach).

Promieniowanie słoneczne i bilans radiacyjny

Do powierzchni ziemi dociera promieniowanie słoneczne zarówno w postaci bezpośredniej, jak i rozproszonej (ryc. 6.1.6). Te dwa rodzaje promieniowania stanowią tzw. całkowite promieniowanie słoneczne Jest to promieniowanie krótkofalowe i oznacza się je jako K↓.

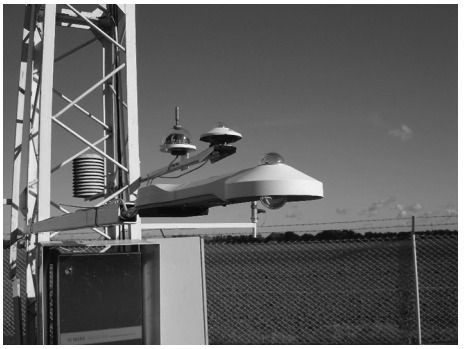
Promienie słoneczne częściowo ulegają odbiciu (K↑), a częściowo są pochłonięte przez podłoże. Stosunek natężenia promieniowania odbitego do całkowitego oznacza albedo powierzchni (A), wyraża się je w procentach lub częściach jedności. Powierzchnia ziemi po absorbcji promieniowania emituje promieniowanie, głównie w zakresie podczerwieni (długofalowe promieniowanie ziemi) – L↑. Część tego promieniowania przechodzi przez atmosferę i dostaje się do przestrzeni kosmicznej, część zaś jest absorbowana przez atmosferę, która emituje promieniowanie. Promieniowanie to wraca do powierzchni ziemi, stąd też nazywamy je promieniowaniem zwrotnym atmosfery, jest to też promieniowanie w zakresie długofalowym (L↓). Natężenie promieniowania słonecznego powinno być mierzone solarymetrem umieszczonym na otwartej przestrzeni. Przy tych pomiarach, podobnie jak przy usłonecznieniu, ważny jest otwarty horyzont. Czujnik przyrządu powinien być wentylowany i ogrzewany, należy ponadto



Ryc. 6.1.6. Stół aktynometryczny z czujnikami promieniowania całkowitego, promieniowania UV i promieniowania rozproszonego na Stacji Bazowej ZMŚP Pojezierze Chełmińskie w Koniczynce (fot. M. Kejna)

zadbać o czystość czujnika – usuwać pyły, opady i osady atmosferyczne.

Zalecany jest pomiar wszystkich składowych bilansu radiacyjnego K↓, K↑, L↓, L↑ za pomocą bilansomierza (ryc. 6.1.7). Na tej podstawie można obliczyć bilans radiacyjny powierzchni ziemi (B*). Pomiary składowych bilansu radiacyjnego prowadzi się na otwartej przestrzeni nad powierzchnią trawiastą na wysokości 2 m n.p.t. Zimą nie usuwa się śniegu. Czujniki powinny być wypoziomowane i wentylowane w celu usuwania pyłów, opadów i osadów, a w przypadku braku systemu wentylacji należy czyścić czujniki raz na dobę lub po każdym opadzie. Składowe bilansu promieniowania wyrażane są w $W \cdot m^{-2}$, a jego sumy dobowe/miesięczne/roczne wyraża się w $J = W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$.



Ryc. 6.1.7. Bilansomierz na Stacji Bazowej ZMŚP Pojezierze Chełmińskie w Koniczynce (fot. M. Kejna)

Parowanie

Parowanie jest procesem przechodzenia wody ze stanu ciekłego w gazowy (parę wodną). W sezonie zimowym z powierzchni śniegu i lodu dochodzi do sublimacji, przejścia wody ze stanu stałego w gazowy. Parowanie z powierzchni wody nazywane jest ewaporacją potencjalną. Natomiast parowanie rzeczywiste uwzględnia parowanie ze zróżnicowanego terenu, oprócz wody z mórz, rzek, jezior, mokradeł, dodatkowo z wilgotnego gruntu i roślinności. Dlatego też nazywa się je ewapotranspiracją. Jego pomiar jest skomplikowany i wymaga specjalistycznych urządzeń.

Parowanie mierzy się z powierzchni wody, wykorzystując wzory bazujące na parametrach meteorologicznych lub też specjalne urządzenia. Do pomiarów najczęściej używa się ewaporometrów będących zbiornikami wypełnionymi wodą o różnej średnicy. Stosuje się również ewaporometry wagowe. Wcześniej stosowano ewaporometry Piche'a, szklaną rurkę wypełnioną wodą, która parowała z krążka bibuły. Pomiar parowania wykonuje się o godz. 6:00 UTC w sposób manualny lub automatyczny, mierząc ubytek wody w milimetrach. Przy obliczeniach wielkości ewaporacji ze zbiorników wodnych należy uwzględnić opad atmosferyczny.

6.1.3.3. Metody obliczeń parametrów meteorologicznych

Zasady obliczania średnich, amplitud, zakresu (na przykładzie temperatury):

Średnia dobowa

Jest to średnia arytmetyczna obliczona z wartości godzinnych od 00 do 23 UTC:

$$T_{śr.dob.} = (t_{00} + t_{01} + \ldots + t_{23}) : 24$$

Dla temperatury powietrza przy pomiarach tradycyjnych oblicza się ją ze wzoru:

$$T_{śr.dob.} = (t_{06} + t_{min} + t_{18} + t_{max}) : 4$$

t_{min} – temperatura minimalna dla doby
t_{max} – temperatura maksymalna dla doby

Średnia miesięczna
Jest to średnia arytmetyczna obliczona ze średnich wartości dobowych:

$$T_{śr.mc} = (t_1 + t_2 + \ldots + t_n) : n$$

n – liczba dni w miesiącu

Średnia roczna
Jest to średnia arytmetyczna obliczona ze średnich wartości dobowych:

$$T_{śr.rok} = (t_1 + t_2 + \ldots + t_n) : N$$

n – kolejny dzień roku
N – liczba dni w roku (365 lub 366)

lub średnich wartości miesięcznych uwzględniająca liczbę dni w miesiącach (28 lub 29, 30, 31):

$$T_{śr.rok} = (t_{In} + t_{IIn} + \ldots + t_{XII}n) : N$$

n – liczba dni w miesiącu
N – liczba dni w roku (365 lub 366).

Dopuszcza się obliczenie średniej rocznej z wartości miesięcznych, bez nadania im wagi w postaci liczby dni w miesiącu.

Średnia z wielolecia – okres obejmujący 30 lat (np. 1981–2010) lub cały okres działalności stacji
Jest to średnia arytmetyczna obliczona ze średnich wartości rocznych:

$$t_{śr.} = (t_{rok\ 1} + t_{rok\ 2} + \ldots + t_{rok\ n}) : N$$

N – liczba lat w wieloleciu

W celach porównawczych zaleca się, aby średnie wieloletnie rozpoczynały się rokiem 1 lub 6, a kończyły się na 0 lub 5, np. 1991–2020 lub 1986–2015.

Amplituda dobowa temperatury

$$A_{dob.} = t_{max} - t_{min}$$

t_{max} – maksimum dobowe
t_{min} – minimum dobowe

Amplituda roczna temperatury

$$A_{rok} = t_{mc} - t_{mch}$$

t_{mc} – średnia temperatura w miesiącu najcieplejszym w ciągu roku
t_{mch} – średnia temperatura w miesiącu najchłodniejszym

Zakres temperatury

$$Z_{temp.} = t_{\max abs} - t_{\min abs}$$

$t_{\max abs}$ – najwyższa temperatura zmierzona w wieloleciu
$t_{\min abs}$ – najniższa temperatura zmierzona w wieloleciu

Dni charakterystyczne – temperatura powietrza

Tabela 6.1.4. Dni charakterystyczne – temperatura powietrza

Dzień	Kryterium
Dni bardzo upalne	$T_{max} > 35$°C
Dni upalne	$T_{max} > 30$°C
Dni gorące	$T_{max} > 25$°C
Dni przymrozkowe	$T_{min} < 0$°C
Dni przymrozkowe*	$T_{min} < 0$°C, $T_{max} \geq 0$°C
Dni mroźne	$T_{max} < 0$°C
Dni bardzo mroźne	$T_{min} < -10$°C

*ostrzejsze kryterium, właściwsze ze względu na skutki przyrodnicze.

Termiczne pory roku i okresy termiczne

Termiczne pory roku oraz okresy termiczne wyznacza się metodą graficzną lub rachunkową według Gumińskiego (2018). Wydziela się 6 termicznych pór roku na podstawie przekroczenia przez średnią temperaturę dobową progów termicznych 0, 5 i 15°C.

Tabela 6.1.5. Termiczne pory roku

Pora roku lub okres termiczny	Kryterium
Przedwiośnie	$0°C \leq t < 5{,}0°C$
Wiosna	$5{,}0°C \leq t < 15{,}0°C$
Lato	$t \geq 15{,}0°C$
Jesień	$5{,}0°C \leq t < 15{,}0°C$
Przedzimie	$0°C \leq t < 5{,}0°C$
Zima	$t < 0{,}0°C$
Okres wegetacji	$t \geq 5{,}0°C$
Okres intensywnej wegetacji	$t \geq 10{,}0°C$

Daty rozpoczęcia pór roku wydziela się na podstawie średnich miesięcznych wartości temperatury powietrza. Najpierw należy obliczyć X. Dla wzrostu temperatury powietrza stosuje się wzór:

$$X = \frac{Tp - T1}{T2 - T1} Ld$$

a dla spadku temperatury wzór:

$$X = \frac{T1 - Tp}{T1 - T2} Ld$$

Tp – temperatura progowa: 0, 5 lub 15°C,
*T*1 – temperatura w miesiącu poprzedzającym przekroczenie progu,
*T*2 – temperatura w miesiącu po przekroczeniu progu,
Ld – liczba dni w miesiącu poprzedzającym przekroczenie progu.

Następnie do 15. dnia miesiąca poprzedzającego przekroczenie progu należy dodać X. Jeżeli data ta przekracza liczbę dni w miesiącu, bierze się pod uwagę kolejny miesiąc, np. przy X = 20, dla kwietnia początek pory roku wypadnie na 35 dzień, czyli będzie to 5 dzień maja.

Suma temperatur efektywnych T_{ef} (°C)

$$T_{ef.} = \Sigma (T - 10)$$

T – średnia dobowa temperatura powietrza

Oblicza się ją, dodając odchylenia temperatury ponad próg 10°C, czyli w okresie intensywnej wegetacji.

Klasyfikacja termiczna

Dla niektórych elementów meteorologicznych podaje się sumy dobowe, miesięczne, roczne (np. opady atmosferyczne, usłonecznienie, promieniowanie słoneczne, bilans radiacyjny).

Tabela 6.1.6. Klasyfikacja termiczna roku lub miesiąca według Lorenc i Boguckiej (1996)

Przedział wartości obliczony wg $T_{śr.wiel.}$	Ocena roku lub miesiąca
$T_{śr.wiel.} + 2{,}5SD < T_{śr.rocz.}$	ekstremalnie ciepły
$T_{śr.wiel.} + 2{,}0SD < T_{śr.rocz.} \leq T_{śr.wiel.} + 2{,}5SD$	anomalnie ciepły
$T_{śr.wiel.} + 1{,}5SD < T_{śr.rocz.} \leq T_{śr.wiel.} + 2{,}0SD$	bardzo ciepły
$T_{śr.wiel.} + 1{,}0SD < T_{śr.rocz.} \leq T_{śr.wiel.} + 1{,}5SD$	ciepły
$T_{śr.wiel.} + 0{,}5SD < T_{śr.rocz.} \leq T_{śr.wiel.} + 1{,}0SD$	lekko ciepły
$T_{śr.wiel.} - 0{,}5SD \leq T_{śr.rocz.} \leq T_{śr.wiel.} + 0{,}5SD$	normalny
$T_{śr.wiel.} - 1{,}0SD \leq T_{śr.rocz.} < T_{śr.wiel.} - 0{,}5SD$	lekko chłodny
$T_{śr.wiel.} - 1{,}5SD \leq T_{śr.rocz.} < T_{śr.wiel.} - 1{,}0SD$	chłodny
$T_{śr.wiel.} - 2{,}0SD \leq T_{śr.rocz.} < T_{śr.wiel.} - 1{,}5SD$	bardzo chłodny
$T_{śr.wiel.} - 2{,}5SD \leq T_{śr.rocz.} < T_{śr.wiel.} - 2{,}0SD$	anomalnie chłodny
$T_{śr.rocz.} < T_{śr.wiel.} - 2{,}5SD$	ekstremalnie chłodny

$T_{śr.wiel.}$ – temperatura średnia wieloletnia (norma), $T_{śr.rocz.}$ – temperatura średnia roczna, *SD* – odchylenie standardowe.

Współczynnik kontynentalizmu Gorczyńskiego (K_G), wyrażamy w %

$$K_G = \frac{1{,}7A}{\sin \Phi} - 20{,}4$$

A – amplituda roczna temperatury powietrza
Φ – szerokość geograficzna
K_G w klimacie skrajnie kontynentalnym (Syberia) równa się 100%, na wyspach Oceanu Atlantyckiego równa się 0%.

Suma dobowa opadów atmosferycznych

Doba opadowa trwa od godz. 6:01 do 6:00 UTC dnia następnego. Wynik pomiaru przypisuje się do dnia poprzedzającego.

Suma miesięczna (np. opadów atmosferycznych, usłonecznienia, promieniowania słonecznego)

$$\Sigma_{mc} = \Sigma_1 + \Sigma_2 + \ldots + \Sigma_n$$

n – ostatni dzień w miesiącu

Suma roczna (np. opadów atmosferycznych, usłonecznienia, promieniowania słonecznego)

$$\Sigma_{rok} = \Sigma_{\mathrm{I}} + \Sigma_{\mathrm{II}} + \ldots + \Sigma_{\mathrm{XII}}$$

I, II, … XII – sumy miesięczne

Sumy energii wniesione przez promieniowanie słoneczne, ziemskie i atmosfery podaje się w dżulach, gdzie 1 J = $W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. Aby je wyliczyć, mnożymy średnie natężenie promieniowania w $W \cdot m^{-2}$ przez liczbę sekund w godzinie, dobie, miesiącu lub roku. Najczęściej sumę energii wyraża się w $MJ \cdot m^{-2}$ lub $kJ \cdot m^{-2}$.

Wskaźnik nierównomierności opadu

$$V_p = \frac{\Sigma\,(|P_m - P_{rok}|)}{P_{rok}}$$

P_m – suma miesięczna opadów w mm
P_{rok} – suma roczna opadów w mm

Małe wartości *Vp* oznaczają równomierne opady (oceanizm pluwialny), duże wartości oznaczają nierównomiernie rozłożone opady w ciągu roku. W Polsce zaznacza się kontynentalizm pluwialny – duży udział opadów letnich w sumie rocznej.

Wydajność opadu (α) [$mm \cdot min^{-1}$]

$$\alpha = \frac{h}{t^{1/2}}$$

h – wysokość opadu w mm
t – czas trwania opadu w min

Wyróżnia się opady (za Chomicz 1951):
- $0 < \alpha < 1{,}0$ – zwykły deszcz,
- $1{,}0 < \alpha < 1{,}4$ – silny deszcz,
- $1{,}4 < \alpha < 5{,}65$ – deszcz ulewny,
- $\alpha > 5{,}65$ – deszcz nawalny.

Dni charakterystyczne – opad atmosferyczny

Wartość normową dla temperatury powietrza i opadu atmosferycznego oblicza się dla wielolecia (najlepiej 30 lat).

Tabela 6.1.7. Dni charakterystyczne – opad atmosferyczny

Dzień	Kryterium
Dni bez opadu	p = opad nie wystąpił
Dni z opadem śladowym	p = 0,0 mm (był zaobserwowany opad)
Dni z opadem	p ≥ 0,1 mm
Dni z opadem	p ≥ 1,0 mm
Dni z opadem	p ≥ 10,0 mm
Dni z opadem	p ≥ 30,0 mm
Dni z opadem	p ≥ 50,0 mm
Dni z opadem	p ≥ 100,0 mm

Tabela 6.1.8. Klasyfikacja miesięcy i roku pod względem opadowym według Kaczorowskiej (1962)

Norma roczna opadu [%]	Ocena roku/miesiąca	Norma miesięczna opadu [%]
<50	skrajnie suchy	<25
50–74	bardzo suchy	25–49
75–89	suchy	50–74
90–110	normalny	75–125
111–125	wilgotny	126–150
126–150	bardzo wilgotny	151–175
>150	skrajnie wilgotny	>175

Promieniowanie słoneczne i pozostałe składowe bilansu radiacyjnego

Urządzenia rejestrujące podają wartość natężenia promieniowania słonecznego i składowych bilansu radiacyjnego w $W \cdot m^{-2}$. Na podstawie tych danych należy wyliczyć średnie natężenie promieniowania, uwzględniając wszystkie godziny w dobie (również godziny nocne, kiedy nie świeci słońce). Na podstawie wartości dobowych można wyliczyć średnie natężenie dla miesiąca, roku, wielolecia (jako średnią arytmetyczną).

Na podstawie natężenia promieniowania można wyliczyć sumy dobowe, miesięczne lub roczne energii słonecznej lub składowych bilansu radiacyjnego. Wyraża się je w dżulach, gdzie $1\ J = W \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. Z reguły sumy te wyraża się w $MJ \cdot m^{-2}$. Wzór dla sumy dobowej promieniowania słonecznego w $MJ \cdot m^{-2}$ jest następujący:

$$\text{Suma K}\downarrow = \frac{\text{K}\downarrow \cdot 86400}{1000000}$$

Suma K↓ – suma dobowa promieniowania słonecznego w MJ·m^{-2}
K↓ – średnie natężenie promieniowania słonecznego uwzględniające wszystkie 24 godziny w W·m^{-2}·s^{-1}
86 400 – liczba sekund w ciągu doby
1 000 000 – umożliwia przeliczenie J·m^{-2} na MJ·m^{-2}

Kierunek wiatru (róża wiatrów i średni kierunek)

Najczęściej oblicza się częstość kierunków wiatru w danym okresie, np. miesiącu, roku, wieloleciu. Wyniki podawane są w procentach i prezentowane w postaci róż wiatru (8- lub 16-kierunkowej). Należy pamiętać o podaniu udziału cisz.

Dysponując pomiarami kierunku w stopniach i prędkości w m·s^{-1}, można obliczyć średni kierunek dla doby, miesiąca, roku, wielolecia. Oblicza się go, traktując wiatr jako wektor, który można opisać dwiema składowymi *U* i *V*. Składowa *U* przybiera wartości dodatnie dla wektorów skierowanych na wschód, a ujemne dla kierunku zachodniego. Komponent *V* przyjmuje wartości dodatnie dla wektora o składowej północnej, a ujemne – dla południowej. Sumując wektory, uzyskuje się średni kierunek wiatru. Odpowiedni algorytm w postaci arkusza kalkulacyjnego został przekazany Stacjom Bazowym ZMŚP.

Średnia dobowa dla innych elementów meteorologicznych

Obliczana jest na podstawie pomiarów manualnych o godz. 6:00, 12:00 i 18:00 UTC:

$$t_{śr.\ dob.} = (t_{06} + tw_{12} + t_{18}) : 3$$

Suma dobowa usłonecznienia

$$\Sigma_{dob.} = \Sigma(U_{01} + U_{02} + ... + U_{24})$$

6.1.4. Dokumentacja pomiarów meteorologicznych

Na Stacji należy prowadzić dziennik pomiarów meteorologicznych. Powinien on zawierać podstawowe informacje o:

- lokalizacji stacji pomiarowej: nazwa stacji, adres, dane kontaktowe, współrzędne geograficzne, wysokość n.p.m.,
- informacje o obserwatorach,
- informacje o używanych przyrządach pomiarowych, należy zanotować datę zainstalowania, wymiany przyrządu, jego numer fabryczny, rok produkcji, zachować świadectwo cechowania (kalibracji przyrządu),
- informacje o awariach, przerwach w rejestracji lub prowadzeniu pomiarów,
- istotne dla jakości pomiarów informacje o zmianach w otoczeniu.

Należy archiwizować dokumentację fotograficzną prowadzenia pomiarów. Dokumentować (zdjęcia, filmy, relacje, notatki) wystąpienie ekstremalnych zjawisk meteorologicznych.

6.1.5. Kontrola i weryfikacja danych

Poprawne wyniki zapewniają tylko sprawne i cechowane przyrządy oraz przeszkolony obserwator. W trakcie pomiarów mogą się pojawić błędne lub wątpliwe wartości wynikające z awarii aparatury pomiarowej, ale także i z błędu obserwatora. Wszelkie tego typu sytuacje należy zanotować w dzienniku pomiarów meteorologicznych.

Przy zapisie ostatecznej wartości pomiarów należy uwzględnić poprawki wynikające z wzorcowania przyrządów (zapisane w świadectwie przyrządu) oraz na bieżąco kontrolować zapisywane wartości. W razie wątpliwości powtórzyć pomiar. Uzyskane wyniki pomiarów wykonanych przez obserwatora należy zapisać w dzienniku meteorologicznym w formie papierowej i cyfrowej. Dane z rejestratorów należy zarchiwizować w postaci cyfrowej. W celu zapewnienia bezpieczeństwa dane te powinny być na kilku nośnikach, w tym jednym poza stacją (niebezpieczeństwo pożaru).

Osoba prowadząca pomiary meteorologiczne zobowiązana jest do ich bieżącej kontroli logicznej oraz rachunkowej. Wartości sprawdzone przechowuje się w oddzielnym pliku i dopiero wtedy mogą one posłużyć do dalszych obliczeń. Przy opracowywaniu wyników należy sprawdzić kompletność danych, porównać wartości skrajne oraz przeprowadzić kontrolę wynikającą ze współzależności pomiędzy elementami meteorologicznymi. Należy odpowiednio (zgodnie z niniejszą metodyką) oflagować wartości błędne i mało prawdopodobne, a następnie postarać się wyjaśnić przyczyny pojawienia się wątpliwych danych. Zasady kontroli źródłowych danych meteorologicznych podane są w opracowaniach Janiszewskiego (1988) i Pruchnickiego (1987).

6.1.6. Raportowanie danych do bazy danych

Raportowanie danych do Centralnej Bazy Danych ZMŚP powinno odbywać się zgodnie z aktualnymi wytycznymi. Przykładowy arkusz danych dla programu obligatoryjnego zaprezentowano w tabeli 6.1.9.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- W przypadku braku opadów atmosferycznych pozostawiamy pustą komórkę w kolumnie wartość i umieszczamy kod M1 (brak zjawiska) w kolumnie jakość danych. Analogicznie postępujemy dla grubości pokrywy śnieżnej (SC_H) oraz rodzaju opadów atmosferycznych (RR_K).
- Kierunek wiatru (WID) podajemy jako sumę wektorową (kod V) wyrażoną w stopniach (azymut 0–360). W przypadku ciszy komórka w kolumnie wartość pozostaje pusta, w kolumnie jakość danych umieszczamy kod M1 (brak zjawiska).
- W przypadku temperatury minimalnej powietrza przy powierzchni gruntu (TA_G) podajemy wartość najniższą w ciągu doby – z termometru minimalnego odczytanego o godz. 7:00 (CŚE) lub ze stacji automatycznej.

Tabela 6.1.9. Zapis danych w bazie danych, program A1 – Meteorologia. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
A1	XXZM	SM	001			200	2019-01-01	1	HH	DB	80,5		X					%	
A1	XXZM	SM	001			200	2019-01-02	1	HH	DB	64,2		X					%	
A1	XXZM	SM	001			200	2019-01-03	1	HH	DB	64,2		X					%	
A1	XXZM	SM	001			200	2019-01-04	1	HH	DB	85,6		X					%	
A1	XXZM	SG	001			100	2018-01–17	1	RR_T	ZM	0,2		S					mm	
A1	XXZM	SG	001			1000	2018-05–22	1	WID	DB	98,5		V					deg	
A1	XXZM	SG	001			100	2018-01–19	1	RR_T	ZM	0,5		S					mm	
A1	XXZM	SG	001			1000	2017-03-05	1	WIV	DB	1,4		X					m/s	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium, pole niewykorzystywane w tym programie, F (LM) – kod listy medium, pole niewykorzystywane w tym programie, G (POZ) – wysokość (głębokość) w cm wykonania pomiaru w stosunku do powierzchni terenu, pole obligatoryjne, w przypadku głębokości podajemy wartości dodatnie, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-DD, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru oznacza ilość pojedynczych przyrządów służących do pomiaru danego parametru, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole opcjonalne (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole niewykorzystywane w tym programie, P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, pole niewykorzystywane w tym programie, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole niewykorzystywane w tym programie, R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole niewykorzystywane w tym programie, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole niewykorzystywane w tym programie.

Literatura

Derek P., 2015. Instrukcja dla stacji meteorologicznych. Wydawnictwo IMGW-PIB, Warszawa.

Gawrońska D., 2017. Analiza i wybór lokalizacji stacji meteorologicznej na podstawie zasad obowiązujących w państwowej służbie hydrologiczno-meteorologicznej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Organizacja i Zarządzanie, 114, 1993: 79–87.

Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. WMO, 8 (https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12407#.Xl-zREpCdaQ).

Huculak W., Makowiec M., 1977. Wyznaczanie meteorologicznego okresu wegetacyjnego na podstawie jednorodnych materiałów obserwacyjnych. Zeszyt Nauk. SGGW-AR w Warszawie, Leśnictwo, 25: 65–72.

Instrukcja dla stacji meteorologicznych, 2014. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.

Janiszewski F., 1988. Wskazówki dla posterunków meteorologicznych. Wyd. II uaktualnione. IMGW, Warszawa.

Kossowska-Cezak U. i in., 2000. Meteorologia i klimatologia: pomiary, obserwacje, opracowania. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Kostrzewski A., 2018. Założenia metodologiczne, merytoryczne i organizacyjne programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. W: A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemów Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 19–28.

Kostrzewski A., Kruszyk R., Kolander R., 2006. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań (http://zmsp.gios.gov.pl/?page_id=69).

Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A. (red.), 1995. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Kożuchowski K., 2005. Meteorologia i klimatologia. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

KLIMADA, 2020. Global warming and its impact on Europe and Poland (http://klimada.mos.gov.pl/en/climate-change-in-poland/).

Lorenc H., 1998. Ocena stopnia realizacji programu „Obserwacje meteorologiczne i badania klimatyczne w systemie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego" oraz synteza uzyskanych wyników badań za okres 1994–1997. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i tendencje rozwoju geoekosystemów Polski. Materiały z IX Sympozjum ZMŚP, Storkowo, 2–4 września 1998. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Lorenc H., Suwalska-Bogucka M., 1993. Dlaczego nie można zrezygnować z nocnych obserwacji temperatury i wilgotności względnej powietrza na posterunkach meteorologicznych w Polsce? Gazeta Obserwatora IMGW, 6.

Lorenc H., Suwalska-Bogucka M., 1995. Metody obliczania średniej dobowej temperatury i wilgotności względnej powietrza. Materiały Badawcze IMGW, seria: Meteorologia, 24.

Lorenc H., Suwalska-Bogucka M., 1996. Thermal tendencies of winters in Poland as the indicator of climate variability. Zesz. Nauk. UJ, 102: 365–374.

Maciążek A., 1995. Pomiary meteorologiczne i hydrologiczne w Zintegrowanym Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Propozycje programowe. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Malinowska M., 2010. Przewodnik do ćwiczeń z meteorologii i klimatologii. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
Pruchnicki J., 1987. Metody opracowań klimatologicznych. PWN, Warszawa.
Różdżyński K., 1996. Miernictwo meteorologiczne. T. 1 i 2. IMGW, Warszawa.
Wyszkowski A., 2008. Przewodnik do ćwiczeń terenowych z meteorologii i klimatologii. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.

6.2. Program B1 – Zanieczyszczenie powietrza

Anna Degórska

Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie

6.2.1. Wprowadzenie, cel pomiarów

Pomiary stężenia gazów, aerozoli i pyłu zawieszonego w powietrzu umożliwiają ocenę bezpośredniego wpływu zanieczyszczeń powietrza na ekosystemy i zdrowie ludzi, jak również służą do oszacowania wielkości suchej depozycji tych zanieczyszczeń. Gazy i aerozole mogą oddziaływać bezpośrednio na drzewa i roślinność, poprzez suche osiadanie ich na powierzchni, wnikanie do aparatów szparkowych lub pośrednio, poprzez suchą depozycję i wymywanie z atmosfery przez opady – na gleby i wody powierzchniowe.

Stężenia gazów i aerozoli są odnoszone do przyjętych poziomów dopuszczalnych ustanowionych ze względu na ochronę roślin i zdrowia ludzi oraz do przyjętych ładunków krytycznych dla różnych typów siedlisk.

W programie ZMŚP, poza wykonywanymi obligatoryjnymi pomiarami pasywnymi i alternatywnie manualnymi lub automatycznymi (w ramach programu rozszerzonego), mogą być wykorzystywane dane uzyskane ze stacji monitoringu powietrza Państwowego Monitoringu Środowiska, reprezentujących warunki tła regionalnego i pozamiejskiego, np. stacji monitorujących jakość powietrza na potrzeby oceny jakości powietrza pod kątem ochrony roślin, pod warunkiem uwzględnienia ich reprezentatywności w ujęciu zlewni badawczej Stacji Bazowej.

6.2.2. Zakres parametrów pomiarowych

Program obligatoryjny obejmuje pomiary stężeń dwutlenku siarki (SO_2) i dwutlenku azotu (NO_2) wykonywane pasywną metodą wskaźnikową (tab. 6.2.1). Z punktu widzenia oceny wpływu związków siarki i azotu na ekosystem jako całość oraz poszczególne jego elementy istotne jest prowadzenie pomiarów innych form gazów i aerozoli wskazanych w programie rozszerzonym. Program rozszerzony obejmuje także wykonywanie pomiarów automatycznymi metodami referencyjnymi SO_2 i NO_2 lub metodami manualnymi. Uwzględnia również pomiary

innych zanieczyszczeń gazowych, istotnych dla oceny wpływu atmosfery na rośliny, jak ozonu (O_3) czy dwutlenku węgla (CO_2) jako wskaźnika zmian klimatu oraz pyłu zawieszonego PM10 (tab. 6.2.2).

Tabela 6.2.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego B1 – Zanieczyszczenie powietrza

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów/czas uśredniania
GAZY				
Siarka w dwutlenku siarki S-SO_2 (oznaczana metodą pasywną)	SO2S_P	ZM	$\mu g \cdot m^{-3}$, 1	1/miesiąc
Azot w dwutlenku azotu N-NO_2 (oznaczany metodą pasywną)	NDON_P	ZM	$\mu g \cdot m^{-3}$, 1	

Tabela 6.2.2. Parametry rozszerzone programu pomiarowego B1 – Zanieczyszczenie powietrza

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów/czas uśredniania
GAZY				
Siarka w dwutlenku siarki S-SO_2 (oznaczana metodą manualną, automatyczną)	SO2S	DB	$\mu g \cdot m^{-3}$, 1	1/dobę[1 lub 2]
Azot w dwutlenku azotu N-NO_2 (oznaczany metodą manualną, automatyczną)	NDON	DB	$\mu g \cdot m^{-3}$, 1	
Dwutlenek węgla CO_2	CO2	DB	ppm, 1	1/dobę[1]
Ozon O_3	O3	DB	$\mu g \cdot m^{-3}$, 1	
GAZY + AEROZOLE				
Azot azotanowy $HNO_3(g) + NO_3(a)$	NO3N_T	IM	$\mu g \cdot m^{-3}$, 1	1/dobę[2]
Azot amonowy $NH_3(g) + NH_4(a)$	NH4N_T	IM	$\mu g \cdot m^{-3}$, 1	
AEROZOLE I PYŁ				
Siarka siarczanowa S-SO_4	SO4S	DB	$\mu g \cdot m^{-3}$, 1	1/dobę[2]
Pył zawieszony	PM10	ZM	$\mu g \cdot m^{-3}$, 1	

[1] średnie wartości dobowe z pomiarów ciągłych,
[2] próbki dobowe.

6.2.3. Metodyka

Metoda pasywna

Na Stacjach Bazowych zalecane jest wykonywanie pomiarów stężeń dwutlenku siarki i dwutlenku azotu w powietrzu metodą pasywną z miesięcznym okresem ekspozycji próbnika (od pierwszego do ostatniego dnia miesiąca).

Na każdym stanowisku pomiarowym powinny być umieszczone co najmniej trzy próbniki pasywne pochodzące od jednego producenta. Próbniki należy rozmieścić w odległości od kilku do kilkudziesięciu metrów jeden od drugiego, na wysokości od 1,5 do 4 m nad powierzchnią terenu, zgodnie z zaleceniami producenta. Dopuszcza się wyższe usytuowanie czerpni, gdyż punkt pomiarowy ma być reprezentatywny dla dużego obszaru. Teren powinien być pokryty zwartą, niską roślinnością (najlepiej trawą).

Na rycinie 6.2.1 pokazano przykładowe umieszczenie próbnika pasywnego – pod klatką meteorologiczną.

Ryc. 6.2.1. Przykładowe umieszczenie próbnika pasywnego

Próbniki po ekspozycji należy wysłać do analizy laboratoryjnej. Należy stosować się do wymagań dotyczących okresów przesyłania próbników do analizy oraz zakresu informacji o warunkach meteorologicznych panujących w okresie ekspozycji.

Inne metody

Pomiary zanieczyszczeń powietrza metodami manualnymi polegają na poborze zanieczyszczeń powietrza na filtry z ustalonym przepływem powietrza (ryc. 6.2.2), które następnie podlegają analizie w laboratorium. Metodami manual-

Ryc. 6.2.2. Przykładowe urządzenia do pobierania próbek zanieczyszczeń powietrza metodami manualnymi

Ryc. 6.2.3. Przykładowe automatyczne analizatory zanieczyszczeń powietrza

nymi wykonywane mogą być pomiary średnich dobowych stężeń w powietrzu: siarczanów (SO_4^{2-}), sumy kwasu azotowego i azotanów ($HNO_3+NO_3^-$), sumy amoniaku i jonów amonowych ($NH_3+NH_4^+$), a także dwutlenku siarki (SO_2) i dwutlenku azotu (NO_2).

Metody automatyczne umożliwiają uzyskanie danych w trybie ciągłym w czasie rzeczywistym. Metodami tymi mierzone są stężenia ozonu (O_3), dwutlenku siarki (SO_2), dwutlenku azotu (NO_2) i dwutlenku węgla (CO_2) (ryc. 6.2.3).

Pomiary stężenia pyłu zawieszonego mogą być prowadzone zarówno metodami manualnymi, jak i automatycznymi. W przypadku pomiarów automatycznych wymagane jest określenie współczynnika korekcyjnego (równoważności) do metody referencyjnej (manualnej z wykorzystaniem pobornika niskoobjętościowego).

W przypadku stosowania metod manualnych lub automatycznych aparatura pomiarowa powinna być umieszczona w specjalnie do tego celu przygotowanym kontenerze lub w budynku Stacji (istotne jest zapewnienie stabilnych warunków pracy urządzeń w zakresie temperatury i wilgotności), a w przypadku pobierania próbek pyłu zawieszonego pobornik może być umieszczony na zewnątrz, np. w ogródku meteorologicznym.

6.2.3.1. Wymagania stanowisk pomiarowych

Przy wyborze miejsca pomiarów należy stosować się do następujących kryteriów:

- Stanowisko pomiarów zanieczyszczenia atmosfery przeznaczone do pomiarów w warunkach tłowych powinno być dostatecznie oddalone od lokalnych źródeł emisji zanieczyszczeń – co najmniej 20 km od aglomeracji o liczbie mieszkańców ponad 250 000 lub ponad 5 km od innych obszarów zabudowanych, instalacji przemysłowych, ferm hodowlanych i szlaków komunikacyjnych oraz znajdować się poza strefą wpływu najbliższego terenu zabudowanego. Dotyczy to również budynków samej Stacji Bazowej, które nie mogą stanowić źródła emisji zanieczyszczeń (np. nie mogą mieć wyrzutów gazów z laboratoriów, nie mogą być ogrzewane paliwami stałymi itd.). W przypadku Stacji Bazowych na terenach zurbanizowanych to ogólne kryterium lokalizacyjne nie ma zastosowania.
- W rejonie stanowiska pomiarowego w ciągu najbliższych dziesięcioleci nie może być zaplanowana budowa dużych obiektów przemysłowych, tras komunikacyjnych i osiedli.
- Należy ograniczać czynniki wpływające na lokalne zróżnicowanie warunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w stosunku do warunków typowych dla rozważanego rejonu, a więc unikać lokalnych zagłębień terenu, wzniesień i stromych skarp, otoczenia wilgotnych łąk, bagien i dużych zbiorników wody. Właściwa lokalizacja stanowiska powinna być zatwierdzona przez eksperta ZMŚP, co pozwoli osiągać wyniki reprezentatywne dla dużych obszarów.

W ramach programu obligatoryjnego do pomiarów zanieczyszczeń powietrza powinna być wykorzystywana metoda pasywna. Próbniki pasywne powinny być zawieszone swobodnie, chronione przed bezpośrednim działaniem opadu i promieniowania słonecznego, ale w miejscach dobrze przewietrzanych.

Pomiary stężeń zanieczyszczeń powietrza w ramach programu rozszerzonego powinny być prowadzone metodami manualnymi i/lub automatycznymi, przy spełnieniu warunków właściwej lokalizacji czerpni powietrza. Określenie zasad szczegółowej lokalizacji czerpni powietrza wiąże się z koniecznością wyeliminowania lokalnych zaburzeń przepływu w miejscu poboru próbki i zapewnienia swobodnego dopływu powietrza do czerpni. Właściwe umiejscowienie czerpni powinno spełniać następujące warunki:

- Czerpnię do poboru próbek powietrza należy usytuować nad dachem lub przy zewnętrznej ścianie budynku. W przypadku umiejscowienia czerpni nad dachem wyklucza się pokrycie go materiałem, z którego mogą wydzielać się zanieczyszczenia (np. po rozgrzaniu jego powierzchni) – np. papą.

- Wysokość poboru próbki: 1,5–4 m nad powierzchnią ziemi. Dopuszcza się odstępstwa od tej zasady w niektórych stacjach. Wyniki pomiarów wykonywanych w warunkach odstępstwa od tej zasady powinny być wyraźnie oznaczone zarówno w rocznym raporcie, jak i w zestawieniu danych przesyłanych do bazy danych.
- Odległość wlotu czerpni od konstrukcji poziomych i pionowych (dach, ściany budynku, parapety) – powyżej 1 m.
- Odległość od sąsiadujących budynków wchodzących w skład Stacji nie powinna być mniejsza niż dwukrotna różnica wysokości przeszkody i wysokości umieszczenia czerpni.
- Oddalenie od zwartej grupy drzew nie może być mniejsze niż 20 m, a od pojedynczych drzew powinno być większe niż dwukrotna różnica wysokości drzewa i umieszczenia czerpni.
- Wokół czerpni musi być zapewniony niezakłócony przepływ powietrza, co najmniej w obrębie łuku 270 lub 180 (dla czerpni umieszczonej przy ścianie budynku) od strony nawietrznej dla przeważających kierunków wiatru.
- Na dachu i w najbliższym otoczeniu budynku, gdzie zlokalizowana jest czerpnia, wykluczone jest istnienie źródeł emisji mierzonych substancji – kominów, otworów wentylacyjnych itp.

Aby pomiary były pełnowartościowe, powinny być spełnione następujące warunki dodatkowe:

- budynek pomiarowy musi mieć zapewnione bezemisyjne ogrzewanie w sezonie zimowym; dopuszczalne jest jedynie ogrzewanie elektryczne, pompy ciepła itd.;
- w zabudowaniach stacji nie może istnieć jakiekolwiek źródło emisji gazów pochodzących z procesów spalania bądź wyciągów i odciągów laboratoryjnych itp.;
- w bezpośredniej bliskości punktu pomiarów zanieczyszczeń powietrza (100 m) nie może przebiegać droga, na której odbywa się regularny ruch pojazdów z silnikami spalinowymi.

W celu prowadzenia pełnowartościowych pomiarów, umożliwiających ocenę wpływu jakości powietrza na ekosystemy, powinno dążyć się do jak najszybszego przejścia wszystkich Stacji Bazowych na realizację programu w trybie rozszerzonym.

6.2.3.2. Aparatura pomiarowa

Do pobierania próbek związków siarki i azotu w formie gazów i aerozoli, jak wskazano w programie rozszerzonym, wykorzystuje się filter-packi – zespół filtrów we wspólnej obudowie z tworzywa sztucznego. Aerozole pobierane są na filtr teflonowy, a zanieczyszczenia gazowe na impregnowane filtry celulozowe. W skład urządzenia do pobierania próbek SO_4^{2-}, HNO_3, NO_3^-, NH_3, NH_4^+ (oraz SO_2) na filter-packi wchodzi jednostka sterująca, pompa i gazomierz, podłączone do dwóch równoległych torów filter-packów (osłona + filter-pack + przewód powietrzny), uaktywnianych sekwencyjnie. Zmiana torów dokonywana jest automatycznie i sterowana regulatorem czasowym. Powietrze przechodzi przez ze-

spół filtrów dzięki pracy pompy. Objętość powietrza przechodzącego przez filtry mierzona jest za pomocą gazomierza. W laboratorium tlenowe związki siarki i azotu oznaczane są metodą chromatografii jonowej lub elektroforezy kapilarnej, a beztlenowe związki azotu metodą spektrofotometryczną.

Urządzenie do pobierania próbek NO_2 to osobne urządzenie, w skład którego wchodzi jednostka sterująca, pompa i gazomierz, podłączone do czerpni ze szkła borokrzemowego, a próbki NO_2 pobierane są na impregnowane spiekane filtry w szklanych banieczkach. W laboratorium oznaczenia wykonywane są metodą spektrofotometryczną.

Do pomiarów stężenia ozonu wykorzystuje się automatyczny analizator, w którym metodę pomiarową stanowi fotometria w nadfiolecie, a do pomiarów CO_2 – analizator pracujący na zasadzie absorpcji promieniowania podczerwonego.

Pomiary stężenia SO_2 metodą automatyczną wykonuje się analizatorem wykorzystującym fluorescencję UV, a pomiary stężenia NO_2 – analizatorem wykorzystującym chemiluminescencję.

Pobieranie próbek pyłu zawieszonego prowadzi się z wykorzystaniem niskolub wysokoobjętościowych poborników, a masę pyłu określa się metodą wagową. Można również mierzyć stężenie pyłu metodą automatyczną, dla której wykazano zgodność z metodą referencyjną (grawimetryczną).

W metodach manualnych należy kontrolować poprawność wskazań gazomierza służącego do pomiarów wielkości objętości powietrza. W metodach automatycznych konieczna jest kontrola poprawności wskazań analizatorów oraz okresowe wzorcowanie z użyciem gazów wzorcowych.

6.2.4. Kontrola i weryfikacja danych

Średnie (dobowe, miesięczne, sezonowe, roczne, wieloletnie) stężenia zanieczyszczeń powietrza powinny być obliczane jako średnie arytmetyczne wyników pomiarów jednostkowych (w przypadku metod pasywnych są to dane miesięczne, w przypadku manualnych – dobowe, a automatycznych – godzinowe). Wymagana minimalna kompletność serii danych wynosi dla zanieczyszczeń powietrza 90%. Wymagania co do minimalnej liczby ważnych danych nie uwzględniają utraty danych z powodu okresowego sprawdzania i kalibracji lub konserwacji sprzętu, która nie może przekroczyć kolejnych 5% w skali roku.

Weryfikacja danych powinna wykorzystywać informacje o tendencjach zmian badanych parametrów, zależnościach sezonowych i dobowych oraz zmianach z roku na rok z uwzględnieniem warunków meteorologicznych (oraz w przypadku pomiarów programu rozszerzonego – również technicznych wskazań urządzeń). Powinna być zatem stosowana analiza graficzna, pozwalająca wychwycić wartości odstające w kontrolowanych seriach pomiarowych.

Istotną rolę w procesie kontroli i weryfikacji danych odgrywa dokumentacja procesu pobierania próbek i prowadzenia pomiarów na miejscu, w tym zmian w otoczeniu stacji – wszelkie nietypowe zjawiska i wydarzenia, mogące mieć wpływ na jakość wyników, powinny zostać odnotowane. Odnosi się to np. do przerw w dostawie energii elektrycznej (nie dotyczy metody pasywnej), bardzo

silnego wiatru, mogącego mieć wpływ na stężenia zanieczyszczeń powietrza (porywanie cząstek gleby itp.), widocznego działania lokalnych źródeł emisji zanieczyszczeń lub ich napływu, skróconego lub wydłużonego czasu pobierania próbek (w pomiarach pasywnych lub manualnych). Informacje te pomogą ocenić jakość wyników i ewentualnie wskazać konieczność zastosowania flagi jakości danych.

6.2.5. Raportowanie danych do bazy danych

Raportowanie danych do Centralnej Bazy Danych ZMŚP powinno odbywać się zgodnie z aktualnymi wytycznymi. Przykładowy arkusz danych dla programu obligatoryjnego i rozszerzonego zaprezentowano w tabeli 6.2.3.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- W przypadku metody pasywnej w kolumnie metody wstępnego przygotowania próbki umieszczamy kod PAS (lista ZM), metody manualnej MAN (ZM) i automatycznej AUT (ZM).
- Jeżeli pomiary są wykonywane raz na miesiąc (metoda pasywna) lub raz na dobę (pozostałe metody) kolumna typ danych pozostaje pusta. W pozostałych przypadkach wartości przekazywane są jako średnie arytmetyczne (X).
- Dla zanieczyszczeń gazowych w kolumnie medium umieszczamy kod GAS, zanieczyszczeń w postaci aerozolu PARTICLE oraz GASPART dla zanieczyszczeń w postaci gazowej i aerozolu (lista kodowa IM).

Tabela 6.2.3. Zapis danych w bazie danych, program B1 – Zanieczyszczenie powietrza. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
B1	XXZM	PK	005	GAS	IM	160	2018-02-00	3	NDON_P	ZM	1,9			PAS	ZM	IC	DB	ug/m3	
B1	XXZM	PK	005	GAS	IM	160	2018–10-00	3	SO2S_P	ZM	1,8			PAS	ZM	IC	DB	ug/m3	
B1	XXZM	PK	005	GAS	IM	160	2018-01-00	3	NDON_P	ZM	2,2			PAS	ZM	IC	DB	ug/m3	
B1	XXZM	PB	001	GAS	IM	400	2018-02-03	1	CO2	DB	426,2		X	AUT	ZM	SPI	ZM	ppm	
B1	XXZM	IE	001	GAS	IM	400	2018-04-08	1	NDON	DB		M2		MAN	ZM	SP	DB	ug/m3	
B1	XXZM	PB	001	GAS	IM	400	2018-01-08	1	O3	DB	48,3		X	AUT	ZM	SPU	ZM	ug/m3	
B1	XXZM	IE	001	GAS	IM	250	2018-05–18	1	SO2S	DB	0,1			MAN	ZM	EK	ZM	ug/m3	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium, kod formy zanieczyszczenia powietrza, pole obligatoryjne (Programy/Media [kategoria-frakcje]), F (LM) – kod listy medium, pole obligatoryjne, G (POZ) – wysokość czerpni powietrza w cm nad powierzchnią terenu, pole obligatoryjne, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-DD lub RRRR-MM-00, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru – liczba urządzeń pomiarowych, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole opcjonalne (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole opcjonalne (Opisy/Metody przygotowania próby), P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, obligatoryjne, jeżeli podano metodę wstępnego przygotowania, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole obligatoryjne (Opisy/Metody pomiarowe) (Instytucje/Laboratoria), R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole obligatoryjne, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole niewykorzystywane w tym programie.

Literatura

EMEP Manual for sampling and chemical analysis EMEP/CCC-Report 1/95. Revised 2001 (https://projects.nilu.no/ccc/manual).

Manual for Integrated Monitoring, 1998. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air pollution Effects on Ecosystems, ICP IM Programme Centre Helsinki (www.syke.fi/nature/icpim).

Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest, 2016. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air pollution Effects on Forest (http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual).

PN-EN 14625:2013-02 „Powietrze atmosferyczne – Standardowa metoda pomiaru stężenia ozonu z wykorzystaniem fotometrii w nadfiolecie".

PN-EN 14211:2013-021 „Powietrze atmosferyczne – Standardowa metoda pomiaru stężenia ditlenku azotu i tlenku azotu za pomocą chemiluminescencji".

PN-EN 14212:2013-02 „Powietrze atmosferyczne – Standardowa metoda pomiaru stężenia ditlenku siarki za pomocą fluorescencji w nadfiolecie".

PN-EN 14211:2013-02 „Powietrze atmosferyczne – Standardowa metoda pomiaru stężenia ditlenku azotu i tlenku azotu za pomocą chemiluminescencji".

PN-EN 12341:2014-07 „Powietrze atmosferyczne. – Standardowa grawimetryczna metoda pomiarowa do określenia stężeń masowych frakcji PM10 lub PM2,5 pyłu zawieszonego".

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2012 poz. 2031).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 października 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2019 poz. 1931).

Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 11 grudnia 2020 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz.U. 2020 poz. 2279).

6.3. Program C1 – Chemizm opadów atmosferycznych

Anna Degórska, Ewa Żyfka-Zagrodzińska

Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie

6.3.1. Wprowadzenie, cel pomiarów

Opady atmosferyczne są istotnym elementem dopływu składników wymywanych z atmosfery do ekosystemów.

Opad mokry jest to woda opadająca z atmosfery w postaci ciekłej (deszcz) bądź stałej (śnieg/lód) (PN-ISO 5667-8: 2003 „Jakość wody, pobieranie próbek...").

Ładunki wnoszone do ekosystemów przez opady mokre oblicza się na podstawie stężenia składników zawartych w zebranych próbkach opadu i wysokości opadu (ilości wody opadowej).

Opad suchy są to wszystkie, oprócz wody, związki występujące w cząstkach odkładających się na podłożu w wyniku procesów grawitacji i turbulencji. Wielkość suchego opadu szacuje się na podstawie stężenia gazów i aerozoli w powietrzu oraz ich prędkości osiadania.

Całkowity opad wnoszący zanieczyszczenia z atmosfery do podłoża składa się z suchego i mokrego opadu.

Celem pomiarów chemizmu opadów atmosferycznych jest określenie ilości substancji docierających do podłoża (depozycji zanieczyszczeń) na terenie zlewni reprezentatywnej Stacji Bazowej, ze szczególnym uwzględnieniem substancji zakwaszających i odżywczych. Zakłada się, że depozycja zanieczyszczeń do ekosystemów wnoszona z opadami atmosferycznymi jest jednym z głównych czynników wpływających na naturalne procesy w środowisku.

6.3.2. Zakres parametrów pomiarowych

Zakres pomiarowy w programie obligatoryjnym obejmuje podstawowe parametry fizykochemiczne (odczyn (pH), przewodność elektrolityczną właściwą i zasadowość) oraz główne aniony i kationy (tab. 6.3.1). W programie rozszerzonym uwzględniono również metale (tab. 6.3.2).

W zbiorczych próbkach opadu powinny być oznaczane wszystkie składniki i parametry wskazane w programie obligatoryjnym (nawet, jeśli wykonywane są pomiary pH w próbkach z poszczególnych tygodni przed ich zlaniem do próbki miesięcznej).

Tabela 6.3.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego C1 – Chemizm opadów atmosferycznych

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów/czas uśredniania
Przewodność elektrolityczna właściwa	COND	DB	$mS \cdot m^{-1}$, 1	12/rok z próbek dobowych lub tygodniowych
Odczyn (pH)	PH	DB	[–], 2	
Zasadowość (jeżeli pH > 5,0)	ALK	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Siarka siarczanowa S-SO_4	SO4S	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Azot azotanowy N-NO_3	NO3N	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Azot amonowy N-NH_4	NH4N	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Chlorki Cl	CL	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Sód Na	NA	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Potas K	K	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Wapń Ca	CA	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Magnez Mg	MG	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	

Tabela 6.3.2. Parametry rozszerzone programu pomiarowego C1 – Chemizm opadów atmosferycznych

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów/czas uśredniania
Wysokość opadu	PREC	DB	mm, 1	12/rok
Fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 0	12/rok z próbek dobowych lub tygodniowych
Kadm Cd	CD	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Miedź Cu	CU	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Ołów Pb	PB	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Mangan Mn	MN	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Żelazo Fe	FE	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Cynk Zn	ZN	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Nikiel Ni	NI	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Arsen As	AS	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Chrom Cr	CR	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Glin Al	AL	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	

6.3.3. Metodyka

Na stacjach monitoringu opadów pobierane są próbki opadu mokrego (*wet only*) lub opadu całkowitego (*bulk*). W rejonach o niewielkim zanieczyszczeniu powietrza udział suchego osiadania w kształtowaniu poziomu zanieczyszczeń opadów nie jest znaczący. Kolektory mokrego opadu są wyposażone w pokrywę automatycznie otwieraną na czas opadu i zamykaną po jego ustaniu. Kolektory opadu całkowitego są otwarte przez cały czas, zatem w okresach, w których wystąpił opad deszczu/śniegu, w kolektorze opadu całkowitego zbierany jest opad mokry, a w okresach bezopadowych – opad suchy, wynikający głównie z opadania cząstek stałych. Ładunki obliczone na podstawie stężenia składników zawartych w próbkach opadu zebranych w kolektorach opadu całkowitego są wskaźnikiem ilości substancji docierających do powierzchni w wyniku mokrej i suchej depozycji.

Niskie stężenia większości badanych składników wód opadowych wymuszają stosowanie bardzo rygorystycznych zasad utrzymania czystości kolektorów. Cały sprzęt (lejek i pojemniki na opady, butelki do transportu itp.) powinien być starannie myty, a wszystkie manipulacje prowadzone w taki sposób, aby uniknąć zanieczyszczenia. Sprzęt powinien być płukany w wodzie dejonizowanej, zaś pojemniki do próbek przeznaczonych do analiz metali ciężkich – w 2-procentowym roztworze HNO_3, a następnie w wodzie dejonizowanej. Po płukaniu sprzęt powinien być suszony i przechowywany w sposób uniemożliwiający zanieczyszczenie. Należy zwracać baczną uwagę, aby nie dotykać dłońmi powierzchni stykających się z próbką opadu. Zalecane jest używanie jednorazowych rękawiczek (z obojętnego tworzywa sztucznego).

Zarówno lokalizacja kolektorów opadu, jak i szczegółowy tok postępowania z próbkami zostały opisane w normie PN-ISO 5667-8: 2003 „Jakość wody, pobieranie próbek", cz. 8: „Wytyczne dotyczące pobierania opadu mokrego".

6.3.3.1. Wymagania dla stanowisk pomiarowych

Szczegółowa lokalizacja kolektora opadów atmosferycznych powinna spełniać następujące wymagania:

- kolektor powinien być zainstalowany na płaskim, otwartym terenie;
- teren w bezpośrednim sąsiedztwie kolektora powinien być porośnięty trawą i najlepiej otoczony drzewami, które nie powinny rosnąć w odległości mniejszej niż 5- do (lepiej) 10-krotnej ich wysokości; w obszarze tym nie powinny się znajdować pola uprawne lub nieutwardzone drogi (tj. tereny niepokryte roślinnością), z których wiatr może porywać i przynosić pył i inne zanieczyszczenia;
- kolektor powinien być umieszczany najdalej, jak to możliwe, od przeszkód wyższych niż on sam; jako zasadę ogólną przyjmuje się, że żaden obiekt nie powinien znajdować się bliżej kolektora niż w odległości 5 lub (lepiej) 10 razy większej od różnicy ich wysokości; lokalne warunki topograficzne mają zazwyczaj większe znaczenie w przypadku zbierania próbek śniegu niż deszczu;
- wybrane miejsce powinno być chronione przed aktami wandalizmu za pomocą właściwych środków zabezpieczających;
- kolektor powinien być na trwale posadowiony w gruncie i wypoziomowany.

6.3.3.2. Aparatura i wyposażenie pomiarowe

Do pobierania próbek opadu mokrego wykorzystuje się kolektor z pokrywą, która otwiera się automatycznie w momencie rozpoczęcia opadu i zamyka po jego ustaniu. Powierzchnia wlotowa kolektora opadu wynosi zwykle 500 cm^2. Zarówno lej odbiorczy, jak i komora z butelkami, do których pobierane są próbki, powinny być podgrzewane w okresie zimowym tak, by śnieg i lód uległy stopieniu.

W przypadku pobierania opadu mokrego i całkowitego należy stosować inne kolektory. Jeżeli pobierane są próbki opadu całkowitego, to można eksploatować kolektor opadu mokrego z otwartą na stałe pokrywą lub wykorzystywać kolektory własnej konstrukcji. W ciepłym półroczu kolektory powinny składać się z butelki i lejka (tak połączonych, by ograniczyć parowanie próbek), a w okresie, gdy spodziewane są opady śniegu (na ogół od listopada do kwietnia), należy stosować naczynie cylindryczne o głębokości uniemożliwiającej wywiewanie przez wiatr zebranego śniegu. Średnica lejka/otworu wlotowego powinna wynosić około 20 cm. Wskazane jest, aby lejek miał pionowy kołnierz o wysokości co najmniej 5 cm, co utrudni rozpryskiwanie opadu. Każde naczynie wykorzystywane do zbierania śniegu powinno posiadać dedykowaną pokrywę lub zakrętkę, wykorzystywaną do zabezpieczenia próbki w czasie jej przenoszenia z miejsca pobrania, a następnie podczas procesu topienia. Należy ograniczyć możliwość zanieczyszczenia próbek przez ptaki, np. poprzez zainstalowanie nad lejkiem pierścienia o większej średnicy niż średnica lejka. Pierścień ten nie powinien być ewentualnym źródłem zanieczyszczania próbek metalami.

Powierzchnia odbiorcza kolektora powinna znajdować się na wysokości 1,5 m n.p.g. Na rycinie 6.3.1 pokazano przykłady konstrukcji kolektorów opadu całkowitego (wersja na ciepłą połowę roku), zaczerpnięte z podręcznika ICP Integrated Monitoring (Manual… 1998) oraz kolektor opadu mokrego (EMEP 2001).

Ryc. 6.3.1. Przykładowe konstrukcje kolektorów opadu wykorzystywanych na otwartej przestrzeni

Wszystkie elementy kolektorów opadu, które mają styczność z próbkami, powinny być wykonane z takich materiałów, które nie wchodzą w reakcję z wodą opadową i zawartymi w niej zanieczyszczeniami i nie są źródłem zanieczyszczania próbek.

Pobieranie próbek do oznaczania zawartości metali ciężkich w opadzie powinno być wykonywane przy użyciu osobnego kolektora, w którym lejek i naczynia do zbierania próbek wykonane są ze szkła.

Ze względu na powyższe, nie powinno się stosować innych urządzeń i rozwiązań niż kolektory opadowe.

6.3.3.3. Zasady pobierania próbek opadów atmosferycznych

Próbki opadu powinny być pobierane jako tygodniowe i zlewane do miesięcznych, w których wykonywane są oznaczenia. Tygodnie na przełomie miesiąca ulegają wydłużeniu lub skróceniu, tak by było możliwe zamknięcie okresu pomiarowego w miesiącu kalendarzowym. Dopuszcza się pobieranie próbek dobowych i zlewanie ich do tygodniowych bądź analizowanie próbek dobowych i uśrednianie uzyskanych wyników. Nie jest wskazane pobieranie próbek po miesięcznej ekspozycji kolektora, ze względu na zachodzące w wodzie opadowej nieodwracalne zmiany fizykochemiczne, dające fałszywy obraz składu chemicznego opadów.

Po upływie okresu pobierania próbki opadu (po tygodniu) należy wymienić eksponowane naczynie kolektora na drugie, przygotowane w sposób opisany w dalszej części metodyki. Gdyby nastąpiło przelanie naczynia wskutek znaczącego opadu, należy ten fakt zapisać w dokumentacji pobierania próbek, a dane z tego miesiąca odpowiednio oflagować w bazie danych.

Należy sprawdzić, czy zebrana próbka nie zawiera zanieczyszczeń w postaci liści, owadów, odchodów ptaków itp. Pobranych próbek opadów atmosferycznych nie należy przesączać (jak to zwykle ma miejsce dla innych próbek wodnych). W przypadku obecności zanieczyszczeń należy je usunąć, zachowując odpowiednie środki ostrożności, by nie zanieczyścić próbki, np. odpowiednio przygotowanymi szczypcami. Należy zanotować informacje o zanieczyszczeniu w dokumentacji pobierania próbek. Próbki zanieczyszczone przez ptaki należy bezwzględnie, wylać nie łącząc ich w próbce zbiorczej, notując w dokumentacji ich wielkość oraz fakt odrzucenia, a dane odpowiednio oflagować w bazie danych.

Jeśli zebrano próbkę śniegu lub próbka zamarzła, należy przenieść naczynie kolektora do pomieszczenia i stopić zebraną próbkę. Czynność tę należy wykonać w temperaturze pokojowej. Nie wolno roztapiać próbek z wykorzystaniem urządzeń powodujących nadmierne skoki temperatury, parowanie próbek i zmiany ich składu chemicznego. Po stopieniu się śniegu lub lodu należy postępować z zebraną próbką tak, jak z każdą inną próbką opadu.

Po pobraniu próbki należy określić jej wielkość – zaleca się ustalenie masy, a dopuszcza metodę pomiaru objętości próbki. Wysokość opadu w kolektorze szacowana jest na podstawie masy zebranej próbki i powierzchni wlotowej kolektora. Wysokość opadu może być także mierzona deszczomierzem Hellmanna (ale nie może on służyć do pobierania próbek do analiz).

Próbki tygodniowe powinny być zlewane z kolektora opadu (lub zabrane w naczyniu, w którego miejsce wstawia się kolejne) i przechowywane w niskiej temperaturze (2–8°C), bez możliwości ich zanieczyszczenia, bez dostępu światła – w chłodziarce.

Po przelaniu próbek opadu opróżnione naczynie kolektora należy opłukać wodą dejonizowaną, intensywnie nim poruszając. Odstawić do wyschnięcia dnem do góry na bibule. Umyte naczynia przechowywać w taki sposób, by nie uległy one zanieczyszczeniu. Po upływie miesiąca pomiarowego próbki tygodniowe należy zlać do wspólnego naczynia, po dokładnym wymieszaniu każdej z próbek. Możliwe jest także zlewanie części próbek w proporcjach odpowiadających wielkości zebranych w każdym okresie próbek. Przed zlaniem próbek wskazane

jest, o ile to możliwe, wykonanie pomiaru przewodności elektrolitycznej właściwej i odczynu (pH) w odlanych do tego celu częściach każdej próbki tygodniowej (objętość odlewanej próbki powinna być zawsze proporcjonalna do wielkości zebranej próbki). Próbki, w których wartość pH/przewodności przekracza wartość potrójnego odchylenia standardowego wyników dla tych wielkości z roku ubiegłego, należy wylać, zapisując uprzednio informację o objętości tych próbek.

Należy dokładnie wymieszać zawartość zbiorczego naczynia i odlać do butelek transportowych ilość wody niezbędną do wykonania analizy w laboratorium. Należy wykorzystywać butelki przygotowane przez laboratorium. W próbce zbiorczej (podpróbce z niej odlanej) należy zmierzyć pH i przewodność – w Stacji Bazowej lub w laboratorium wykonującym pozostałe analizy.

Jeżeli późniejsze analizy fizykochemiczne będą dokonywane w próbkach dobowych (bez zlewania), zebrana z kolektora woda opadowa powinna być przelana bezpośrednio do butelek transportowych. Należy to zrobić po dokładnym wymieszaniu próbki w naczyniu kolektora opadu.

Przynajmniej raz w miesiącu (na przełomie miesięcy) należy umyć lejek kolektora – ścianki lejka opłukać strumieniem wody dejonizowanej (popłuczyny wylać), wytrzeć bibułą, jeszcze raz opłukać (popłuczyny wylać). Jeśli lejek w międzyczasie został zanieczyszczony przez ptaki, należy go każdorazowo umyć szczególnie dokładnie!

Próbki do oznaczania zawartości metali ciężkich w opadzie (pobrane do osobnego kolektora) po zebraniu powinny zostać zakwaszone kwasem azotowym (w ilości 0,5 ml HNO_3 (65% suprapure, 1:1) na 1 litr próbki).

Informacje związane z pobieraniem próbek i nietypowymi warunkami, w jakich ono się odbywało (np. bardzo silny wiatr, mogący mieć wpływ na zanieczyszczenie zbieranych próbek, lokalne zanieczyszczenie powietrza, przelanie kolektora, zanieczyszczenie próbek), powinny być notowane.

Jeśli próbki przekazywane są do zewnętrznego laboratorium, to laboratorium powinno określić warunki transportu próbek (odpowiednie izolowane pojemniki, lodówki transportowe, wkłady chłodzące); do laboratorium należy wraz z próbkami przekazać dokumentację umożliwiającą jednoznaczną identyfikację próbek (Stacja Bazowa, okres pobierania, dodatkowe informacje dotyczące próbek i **nietypowych warunków ich pobierania** – informacja niezbędna do poprawnej oceny jakości wyników badań).

6.3.3.4. Zalecane metody analityczne

W tabeli 6.3.3 przedstawiono zestawienie zalecanych metod oznaczeń badanych parametrów i składników oraz metod alternatywnych.

Tabela 6.3.3. Zalecane metody oznaczeń badanych parametrów i składników oraz metody alternatywne

Składnik/parametr	Zalecana metoda oznaczania	Alternatywna metoda oznaczania
Odczyn (pH)	elektrometria	
Przewodność elektrolityczna właściwa	konduktometria	
SO_4	chromatografia jonowa	miareczkowanie konduktometryczne
NO_3	chromatografia jonowa	elektroforeza kapilarna
Cl	chromatografia jonowa	elektroforeza kapilarna
NH_4	spektrofotometria	chromatografia jonowa
Na	ICP-AES	chromatografia jonowa
K	ICP-AES	chromatografia jonowa
Mg	ICP-AES	chromatografia jonowa
Ca	ICP-AES	chromatografia jonowa
Al	ICP-AES	spektrofotometria
$P_{ogól.}$	ICP-AES	spektrofotometria
Fe	ICP-AES	spektrofotometria/ICP-MS
Mn	ICP-AES	kolorymetria/ICP-MS
Pozostałe metale ciężkie: As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	ICP-MS	ICP AES, GF-AAS

ICP-AES – plazmowa spektrometria atomowa emisyjna,
ICP-MS – spektrometria masowa z plazmą wzbudzaną indukcyjnie,
GF-AAS – spektrometria atomowa z kuwetą grafitową.

6.3.3.5. Metody obliczeń parametrów

Średnie (w czasie) wartości stężenia badanych składników opadów oraz średni odczyn i przewodność elektrolityczna właściwa wyrażane są jako średnie ważone, a wagą jest wysokość opadu w czasie uśredniania.

A zatem średnie stężenie danego składnika oblicza się, korzystając ze wzoru:

$$C_{śr} = \frac{\Sigma\,(C_i \cdot h_i)}{\Sigma\, h_i}$$

$C_{śr}$ – średnie stężenie danego składnika [mg·dm^{-3}, μg·dm^{-3}],
C_i – poszczególne stężenia, dla których obliczana jest wartość średnia [mg·dm^{-3}, μg·dm^{-3}],
h_i – poszczególne wysokości opadów odpowiadające ww. stężeniom [mm],
$\Sigma\, h_i$ – suma wysokości opadów, dla których wykonano oznaczenie *i*-tego składnika, w okresie, dla którego obliczana jest wartość średnia [mm].

Średnie roczne stężenie oblicza się na podstawie wartości miesięcznych.

W analogiczny sposób oblicza się średnią przewodność elektrolityczną właściwą, natomiast w przypadku odczynu należy wykonać przeliczenie na stężenie

jonów wodorowych, uśrednić je i przeliczyć ponownie na wartość pH. Tok postępowania przedstawiono poniżej:

$$[H^+] = 10^{-pH}$$

$[H^+]$ – stężenie jonów wodorowych $[g \cdot dm^{-3}]$

lub

$$[H^+] = 10^{6-pH}$$

$[H^+]$ – stężenie jonów wodorowych $[\mu g \cdot dm^{-3}]$

Następnie oblicza się średnią ważoną ze stężeń jonów wodorowych według wzoru podanego dla innych składników i powtórnie oblicza się wartość średnią *pH* według wzoru:

$$pH_{sr} = -\log [H^+]_{sr}$$

Wielkości ładunków wnoszonych z opadami do podłoża są funkcją stężeń poszczególnych składników i wysokości opadów, a oblicza się je według wzoru:

$$L_i = C_i' \cdot h$$

L_i – ładunek i-tej substancji wniesiony do podłoża z opadem w danym okresie pomiarowym $[mg \cdot m^{-2}]$,

C_i' – stężenie i-tej substancji w próbce opadu zebranej w danym okresie pomiarowym $[mg \cdot dm^{-3}]$,

h – suma wysokości opadu w danym okresie pomiarowym, dla którego obliczany jest ładunek [mm]; wysokość opadu w mm odpowiada liczbie dm^3 wody przypadających na 1 m^2 powierzchni; wysokość opadu jest szacowana na podstawie masy zebranych próbek lub mierzona deszczomierzem Hellmanna.

Opracowując wyniki, dokonuje się oceny kwasowości i przewodności elektrolitycznej właściwej opadów według podanych poniżej kryteriów przyjętych zgodnie z klasyfikacjami zawartymi w tabelach 6.3.4 i 6.3.5.

Tabela 6.3.4. Ocena kwasowości opadów (Jansen i in. 1988)

Odczyn (pH)	Ocena odczynu (pH)
< 4,1	silnie obniżone
4,1–4,5	znacznie obniżone
4,6–5,0	lekko obniżone
5,1–6,0	normalne
6,1–6,5	lekko podwyższone
> 6,5	podwyższone

Tabela 6.3.5. Ocena przewodności elektrolitycznej właściwej opadów (Jansen i in. 1988)

Przewodność elektrolityczna właściwa ($mS \cdot m^{-1}$)	Ocena przewodności elektrolitycznej właściwej
0,00–1,50	nieznaczna
1,51–3,00	lekko podwyższona
3,01–4,50	znacznie podwyższona
4,51–6,00	mocno podwyższona
> 6,00	bardzo silnie podwyższona

6.3.4. Kontrola i weryfikacja danych

Wielkość zebranej w kolektorze próbki opadu powinna być na bieżąco porównywana z wysokością opadu zmierzoną deszczomierzem Hellmanna. Stanowi to podstawę do oceny efektywności pracy kolektora opadu, wielkości ubytku w wyniku parowania zbieranych próbek i ewentualnego podejmowania działań korygujących w przypadku dużych różnic (> 20%) pomiaru wysokości opadu deszczomierzem i kolektorem (np. zmiana lokalizacji kolektora opadowego, zwiększenie częstości pobierania/zlewania próbek).

Weryfikując dane, należy obserwować tendencje zmian w stosunku do wartości z lat wcześniejszych. Bardzo przydatnym narzędziem kontroli jest więc analiza graficzna, pozwalająca wychwycić wartości odstające w kontrolowanych seriach pomiarowych.

Istotną rolę w procesie kontroli i weryfikacji danych odgrywa dokumentacja procesu pobierania próbek – wszelkie nietypowe zjawiska meteorologiczne i inne wydarzenia mogące mieć wpływ na jakość wyników (np. przelanie kolektorów, zanieczyszczenie próbek, wydłużenie lub skrócenie czasu pobierania próbek) powinny zostać odnotowane, a informacje pomogą ocenić jakość wyników i ewentualnie zastosować właściwe flagi jakości danych przekazywanych do bazy danych.

Kontrola wyników końcowych powinna polegać na ocenie bilansu jonów, testu przewodności i stosunku jonów chlorkowych do sodowych (rozdz. 8).

6.3.5. Raportowanie danych do bazy danych

Raportowanie danych do Centralnej Bazy Danych ZMŚP powinno odbywać się zgodnie z aktualnymi wytycznymi. Przykładowy arkusz danych dla programu obligatoryjnego zaprezentowano w tabeli 6.3.6.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- Wszystkie oznaczenia przekazywane do bazy powinny zostać wykonane w próbce zbieranej w ten sam sposób (czas ekspozycji kolektorów). Jeżeli dotychczas wykonywano oznaczenia wybranych parametrów po każdej dobie z opadem lub po okresie krótszym od okresu pomiarowego, np. po tygodniu, i podawano jako średnie miesięczne, w celu zachowania ciągłości serii nadal należy raportować te dane do bazy danych.
- Jeżeli oznaczenia wykonywane są w próbce zbiorczej (zlewanej z całego okresu pomiarowego), kolumna typ danych pozostaje pusta.
- W danych przekazywanych do bazy podajemy formę pierwiastkową: $S\text{-}SO_4$, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$.
- W przypadku opadu mokrego w kolumnie medium umieszczamy kod WET, dla opadu całkowitego BULK (lista kodowa IM).
- Jeżeli stacja wykonuje równolegle pomiary frakcji całkowitej (BULK) i mokrej (WET) opadów i obie te serie są przekazywane do bazy, to dla każdej frakcji należy podać odrębny kod stanowiska.

Tabela 6.3.6. Zapis danych w bazie danych, program C1 – Chemizm opadów atmosferycznych. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
C1	XXZM	IE	003	BULK	IM	120	2018-03-00	1	K	DB	0,16				DB	PLE	DB	mg/l	
C1	XXZM	IE	003	BULK	IM	120	2018-05-00	1	NH4N	DB	0,47				DB	SP	DB	mg/l	
C1	XXZM	IE	003	BULK	IM	120	2018-06-00	1	NH4N	DB	0,09				DB	SP	DB	mg/l	
C1	XXZM	IE	003	BULK	IM	120	2018–11-00	1	SO4S	DB	3,13				DB	IC	DB	mg/l	
C1	XXZM	SR	053	WET	IM	150	2018-08-00	1	PH	DB	5,14					ELF	DB	[–]	wwww
C1	XXZM	SR	053	WET	IM	150	2018-09-00	1	PH	DB	5,35					ELF	DB	[–]	
C1	XXZM	SR	053	WET	IM	150	2018–10-00	1	PH	DB	5,07					ELF	DB	[–]	
C1	XXZM	IE	053	WET	IM	150	2018-05-00	1	SO4S	DB	0,30				DB	IC	DB	mg/l	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium, kod frakcji opadu, pole obligatoryjne (Programy/Media [kategoria – frakcje]), F (LM) – kod listy medium, pole obligatoryjne, G (POZ) – wysokość w cm nad powierzchnią terenu powierzchni wlotowej kolektora, pole obligatoryjne, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-00, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru – liczba kolektorów, z których pobierane są próbki, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole opcjonalne (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole fakultatywne (Opisy/Metody przygotowania próby), P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, obligatoryjne, jeżeli podano metodę wstępnego przygotowania, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole obligatoryjne (poza parametrem PREC) (Opisy/Metody pomiarowe) (Instytucje/Laboratoria), R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole obligatoryjne (poza parametrem PREC), S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole niewykorzystywane w tym programie.

Literatura

EMEP Manual for sampling and chemical analysis EMEP/CCC-Report 1/95. Revised 2001 (https://projects.nilu.no/ccc/manual).
Jansen W., Block A., Knaack J., 1988. Acid rain. History, generation, results. Aura, 4: 18–19.
Manual for Integrated Monitoring, 1998. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air pollution Effects on Ecosystems. ICP IM Programme Centre Helsinki (www.syke.fi/nature/icpim).
Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest, 2016. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air pollution Effects on Forest (http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual).
Manual for The GAW Precipitation Chemistry Programme: Guidelines. Data Quality Objectives and Standard Operating Procedures, 160, 2004/2015 (https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9287).
PN-ISO 5667-8: 2003 „Jakość wody, pobieranie próbek, cz. 8: „Wytyczne dotyczące pobierania opadu mokrego".
PN-EN ISO 10523: 2012 „Jakość wody – oznaczanie pH".
PN-EN 27888: 1999 „Jakość wody. Oznaczanie przewodności elektrycznej właściwej".
PN-EN 15841: 2010 „Jakość powietrza atmosferycznego – standardowa metoda oznaczania arsenu, kadmu, ołowiu i niklu w depozycji atmosferycznej".

6.4. Program C2 – Chemizm opadu podkoronowego

Anna Degórska, Ewa Żyfka-Zagrodzińska

Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie

6.4.1. Wprowadzenie, cel pomiarów

Na obszarach leśnych część opadów zatrzymywana jest przez korony drzew (intercepcja), część zaś dociera do dna lasu. Opad w lesie występuje jako opad podkoronowy (woda i śnieg spadające z koron i opadające pomiędzy nimi) i spływ po pniach (woda spływająca po gałęziach i po pniach). Zarówno jedna, jak i druga forma opadu w lesie poprzez kontakt z powierzchnią roślin zmienia znacznie swoje właściwości fizykochemiczne. Wpływają na to zarówno osadzone w warstwie koron aerozole i pyły, jak i procesy fizjologiczne: roślina może zarówno pobierać z wód opadowych niektóre składniki, jak je do nich wprowadzać. Zbilansowanie obiegu materii na obszarach leśnych wymaga zatem określenia ładunków zarówno w opadzie na terenie otwartym, jak i pod drzewami.

6.4.2. Zakres parametrów pomiarowych

W zbiorczych próbkach opadu podkoronowego powinny być oznaczane wszystkie składniki i parametry wskazane w programie obligatoryjnym (nawet, jeśli wykonywane są pomiary pH w próbkach z poszczególnych kolektorów przed zlaniem próbek).

Tabela 6.4.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego C2 – Chemizm opadu podkoronowego

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów/czas uśredniania
Opad podkoronowy	RR_TF	ZM	mm, 1	12/rok
Przewodność elektrolityczna właściwa	COND	DB	$mS \cdot m^{-1}$, 1	12/rok z próbek tygodniowych
Odczyn (pH)	PH	DB	[–], 2	
Zasadowość (jeżeli pH > 5,0)	ALK	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Siarka siarczanowa S-SO_4	SO4S	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Azot azotanowy N-NO_3	NO3N	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Azot amonowy N-NH_4	NH4N	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Chlorki Cl	CL	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Sód Na	NA	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Potas K	K	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Wapń Ca	CA	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Magnez Mg	MG	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	

Tabela 6.4.2. Parametry rozszerzone programu pomiarowego C2 – Chemizm opadu podkoronowego

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów/czas uśredniania
Rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	12/rok z próbek tygodniowych
Fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 0	
Kadm Cd	CD	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Miedź Cu	CU	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Ołów Pb	PB	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Mangan Mn	MN	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Żelazo Fe	FE	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Cynk Zn	ZN	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Nikiel Ni	NI	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Arsen As	AS	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Chrom Cr	CR	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Glin Al	AL	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	

6.4.3. Metodyka

Monitoring chemizmu opadu podkoronowego powinien być realizowany w zbiorowisku leśnym, które odzwierciedla strukturę gatunkową i wiekową lasów na obszarze zlewni reprezentatywnej. Analizie powinna podlegać zbiorcza próbka opadu podkoronowego (z kilku stanowisk, umieszczonych na powierzchni badawczej), reprezentująca zbiorowisko leśne (dominujące gatunki drzew).

Próbki opadów podkoronowych pobiera się do kolektorów opadu całkowitego, zlokalizowanych pod koronami drzew.

6.4.3.1. Wymagania dla stanowisk pomiarowych

Ze względu na bardzo duże zróżnicowanie przestrzenne opadu podkoronowego, związane z niejednolitą strukturą warstwy koron drzew, uzyskanie reprezentatywnych wyników wymaga instalacji wielu kolektorów. Zaleca się, aby było ich co najmniej 10, rozstawionych regularnie na planie siatki lub krzyża pod koronami drzew (zgodnie z zaleceniem ICP Integrated Monitoring). Zakładając powierzchnię badawczą, warto przeprowadzić pomiary wstępne zróżnicowania przestrzennego właściwości fizykochemicznych opadu podkoronowego, które pozwolą określić optymalną liczbę kolektorów dla danego zbiorowiska leśnego. W lesie zdominowanym przez jeden gatunek drzew stanowisk pomiarowych może być mniej, natomiast przy dużym zróżnicowaniu zalecana liczba stanowisk powinna być większa.

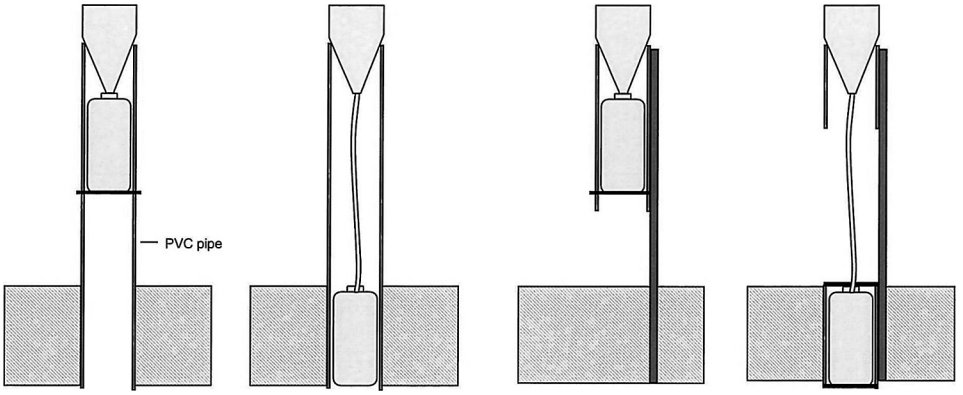
Odległości między poszczególnymi kolektorami nie powinny być mniejsze niż 1/2 średniego promienia koron drzewostanu.

Powierzchnię służącą do badania opadu podkoronowego należy zlokalizować blisko (ale nie na tej samej powierzchni) stałych powierzchni monitoringu gleb i roślinności. Wskazane jest także pobieranie w pobliżu próbek spływu po pniach drzew.

6.4.3.2. Aparatura i wyposażenie pomiarowe

Zaleca się stosowanie kolektorów o powierzchni odbiorczej minimum około 200 cm^2, umieszczonych tak, aby wlot był na wysokości około 1–1,5 m nad powierzchnią gruntu i objętości pozwalającej unikać przelewania kolektorów. Jeśli stosowane są kolektory o większej powierzchni odbiorczej, to należy odpowiednio dobrać objętość pojemników, w których zbierane są próbki. W ciepłym półroczu próbki opadów należy pobierać do kolektorów składających się z butelki i lejka, a w okresie gdy spodziewane są opady śniegu (na ogół od listopada do kwietnia), do naczyń cylindrycznych o głębokości uniemożliwiającej wywiewanie zebranego śniegu przez wiatr. Kolektory letnie powinny zapewniać ochronę zebranych próbek przed światłem słonecznym i nagrzewaniem – np. poprzez osłonięcie folią aluminiową, a szyjki lejków powinny być zabezpieczone sitkiem lub siatką polietylenową przed wpadaniem liści, owadów itp. Naczynie stosowane w zimie powinno mieć pokrywkę lub zakrętkę, które wykorzystuje się w czasie transportu próbek do pomieszczenia i ich topienia (jeśli zebrany został śnieg lub próbka w momencie wymiany kolektora jest zamarznięta).

Na rycinie 6.4.1 pokazano przykłady konstrukcji kolektorów opadu podkoronowego (wersja na ciepłą połowę roku), zaczerpnięte z podręcznika ICP Forest (Manual… 2016).



Ryc. 6.4.1. Przykładowe konstrukcje kolektorów opadu podkoronowego, używanych w ciepłej połowie roku (za ICP Forest http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual)

Postępowanie z próbkami wymaga zachowania odpowiednich środków ostrożności i czystości, podobnie jak w przypadku próbek opadu na otwartej przestrzeni.

Pobieranie próbek do oznaczania zawartości metali ciężkich w opadzie powinno być wykonywane przy użyciu osobnych kolektorów, w których lejki i naczynia do zbierania próbek wykonane są ze szkła, a próbki po zebraniu zakwaszane kwasem azotowym (w ilości 0,5 ml HNO_3 (65% suprapure, 1:1) na 1 litr próbki).

6.4.3.3. Zasady pobierania próbek opadu podkoronowego

Próbki opadu podkoronowego powinny być pobierane jako tygodniowe, a analizy wykonuje się w próbkach miesięcznych (zlewanych z tygodniowych). Nie jest dopuszczalne zbieranie na stanowisku pomiarowym próbek przez cały miesiąc podczas miesięcznej ekspozycji kolektora (bez pośredniego zlewania próbek), ze względu na zachodzące w wodzie opadowej w tym okresie nieodwracalne zmiany fizykochemiczne, dające fałszywy obraz składu opadów. Okresy tygodniowe na przełomie miesiąca wydłuża się lub skraca, tak by było możliwe zamknięcie okresu pomiarowego w miesiącu kalendarzowym.

Próbki tygodniowe należy zbierać do miesięcznych w tych samych terminach, jak w przypadku opadu na terenie otwartym.

Pobieranie próbek opadów podkoronowych powinno być zsynchronizowane w czasie z pobieraniem próbek opadów na otwartej przestrzeni.

Dla każdego kolektora należy zmierzyć objętość zebranego opadu podkoronowego; pomiar można wykonać w terenie lub po przeniesieniu kolektora do budynku Stacji Bazowej (zwłaszcza zimą). Opróżniony kolektor należy opłukać wodą dejonizowaną. Znając powierzchnię wlotową kolektora, przelicza się ją na wysokość (w mm) i oblicza średnią wysokość opadu dla całej powierzchni testowej.

Przed zlaniem próbek do próbki zbiorczej, jeżeli pozwala na to ich objętość, wskazane jest wykonanie pomiaru przewodności elektrolitycznej właściwej oraz pH. W tym celu należy odlać część próbki z kolektora do zlewki, zachowując proporcję objętości opadu między kolektorami i wykonać pomiar przewodności, a następnie pH (inna kolejność jest niedozwolona). Po wykonaniu pomiaru próbkę ze zlewki należy wylać, gdyż stosowanie elektrod pH-metrycznych (wypełnionych stężonym KCl) może spowodować zanieczyszczenie próbek. Próbki, w których wartość pH/przewodności przekracza wartość potrójnego odchylenia standardowego (kryterium dla wartości odstających) wyników dla tych wielkości z roku ubiegłego, należy wylać, zapisując uprzednio informację o objętości tych próbek. Próbki, dla których uzyskane wartości pH i przewodności odbiegałyby znacząco od obserwowanego zakresu, a woda w kolektorze charakteryzowałaby się zapachem gnilnym i znacznym zmętnieniem, należy wylać. Wymienione cechy mogą wskazywać na silne zanieczyszczenie próbki związkami organicznymi (odchody ptasie, rozkładające się organizmy itp.).

Zebrane próbki należy zmieszać w całości lub we właściwych proporcjach – odpowiadających objętości próbek w kolektorach. Następnie należy próbkę zbiorczą (zmieszaną) przesączyć przez filtr membranowy o średnicy porów 0,45 mm.

Przesączone tygodniowe próbki zbiorcze (zmieszane w odpowiednich proporcjach) należy przechowywać we właściwych warunkach – w niskiej temperaturze (2–8°C) i bez możliwości ich zanieczyszczenia – w chłodziarce. Po upływie okresu miesięcznego z uprzednio wymieszanych próbek tygodniowych sporządzić próbkę miesięczną, z której należy odlać właściwą ilość wody do analizy zgodnie z zaleceniem laboratorium analitycznego. W podpróbce odlanej z próbki zbiorczej należy zmierzyć pH i przewodność – na Stacji lub w laboratorium wykonującym pozostałe analizy. Do sporządzenia próbki miesięcznej można stosować metodę proporcjonalnego mieszania (w stosunku do miesięcznej objętości opadu). Pojemniki (butelki), w których próbki będą transportowane do laboratorium, powinny być odpowiednio przez to laboratorium przygotowane.

Przynajmniej raz w miesiącu (po zamknięciu miesięcznego okresu pomiarowego) należy umyć lejek kolektora – ścianki lejka opłukać strumieniem wody dejonizowanej, wytrzeć bibułą, jeszcze raz opłukać. Jeśli lejek w międzyczasie został zanieczyszczony przez ptaki, należy go każdorazowo umyć szczególnie dokładnie.

Podczas pobierania próbek należy stosować odpowiednie zasady zachowania czystości. Cały sprzęt (lejek i pojemniki na opady, butelki itp.) powinien być starannie myty (z wykorzystaniem detergentów, gąbek), a następnie płukany w wodzie dejonizowanej (pojemniki na próbki przeznaczone do oznaczania metali ciężkich – w 2-procentowym HNO_3), potem suszony i przechowywany w sposób uniemożliwiający jego zanieczyszczenie. Wszystkie manipulacje sprzętem powinny być wykonywane tak, aby uniknąć jego zanieczyszczenia. Należy zwracać baczną uwagę, aby nie dotykać dłońmi powierzchni stykających się z próbką opadu. Zalecane jest używanie jednorazowych rękawiczek (z obojętnego tworzywa sztucznego).

Jeśli w kolektorach zebrano próbki śniegu lub próbki zamarzły, należy je przenieść do pomieszczenia i stopić. Czynność tę należy wykonać w temperaturze

pokojowej. Nie wolno roztapiać próbek z wykorzystaniem urządzeń powodujących nadmierne skoki temperatury, parowanie próbek i zmiany ich składu chemicznego. Po stopieniu się śniegu lub lodu należy postępować z zebranymi próbkami tak, jak opisano powyżej.

Informacje związane z pobieraniem próbek i nietypowymi warunkami, w jakich ono się odbywało (np. bardzo silny wiatr, mogący powodować zanieczyszczenie zbieranych próbek, lokalne zanieczyszczenie powietrza, przelanie kolektora, zanieczyszczenie próbek), powinny być notowane.

Jeśli próbki przekazywane są do zewnętrznego laboratorium, to powinno ono określić warunki transportu próbek (odpowiednie izolowane pojemniki, lodówki transportowe, wkłady chłodzące); do laboratorium należy wraz z próbkami przekazać dokumentację umożliwiającą jednoznaczną identyfikację próbek (Stacja Bazowa, okres pobierania, dodatkowe informacje dotyczące próbek i nietypowych warunków ich pobierania – informacja niezbędna do poprawnej oceny jakości wyników badań).

6.4.3.4. Zalecane metody analityczne

W tabeli 6.4.3 przedstawiono zestawienie zalecanych metod oznaczeń badanych parametrów i składników oraz metod alternatywnych.

Tabela 6.4.3. Zalecane metody oznaczeń badanych parametrów i składników oraz metody alternatywne

Składnik/parametr	Zalecana metoda oznaczania	Alternatywna metoda oznaczania
Odczyn (pH)	elektrometria	
Przewodność elektrolityczna właściwa	konduktometria	
SO_4	chromatografia jonowa	miareczkowanie konduktometryczne
NO_3	chromatografia jonowa	elektroforeza kapilarna
Cl	chromatografia jonowa	elektroforeza kapilarna
NH_4	spektrofotometria	chromatografia jonowa
Na	ICP-AES	chromatografia jonowa
K	ICP-AES	chromatografia jonowa
Mg	ICP-AES	chromatografia jonowa
Ca	ICP-AES	chromatografia jonowa
Al	ICP-AES	spektrofotometria
$P_{ogól.}$	ICP-AES	spektrofotometria
Fe	ICP-AES	spektrofotometria/ICP-MS
Mn	ICP-AES	kolorymetria/ICP-MS
Pozostałe metale ciężkie: As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	ICP-MS	ICP AES, GF-AAS

ICP-AES – plazmowa spektrometria atomowa emisyjna
ICP-MS – spektrometria masowa z plazmą wzbudzaną indukcyjnie
GF-AAS – spektrometria atomowa z kuwetą grafitową

6.4.3.5. Metody obliczeń parametrów

Średnie wartości stężenia badanych składników opadu podkoronowego oraz średnie wartości pH i przewodności elektrolitycznej właściwej wyrażane są jako średnie ważone – średnie roczne jako średnie z wartości miesięcznych, a wagę stanowi wielkość zebranych próbek (średnia z wszystkich kolektorów na powierzchni badawczej). Wielkości ładunków wnoszonych z opadami do podłoża są funkcją stężeń poszczególnych składników i wysokości opadów podkoronowych.

W związku z powyższym średnie (w czasie lub z różnych kolektorów) stężenie danego składnika oblicza się, korzystając ze wzoru:

$$C_{śr} = \frac{\Sigma\ (C_i \cdot h_i)}{\Sigma\ h_i}$$

$C_{śr}$ – średnie stężenie danego składnika [mg·dm^{-3}, μg·dm^{-3}],
C_i – poszczególne stężenia, dla których obliczana jest wartość średnia [mg·dm^{-3}, μg·dm^{-3}],
h_i – poszczególne wysokości opadów odpowiadające ww. stężeniom [mm],
$\Sigma\ h_i$ – suma wysokości opadów, dla których wykonano oznaczenie *i*-tego składnika, w okresie, dla którego obliczana jest wartość średnia [mm].

Średnie roczne stężenie oblicza się na podstawie wartości miesięcznych.

W analogiczny sposób oblicza się średnią przewodność elektrolityczną właściwą, natomiast w przypadku odczynu należy wykonać przeliczenie na stężenie jonów wodorowych, uśrednić je i przeliczyć ponownie na wartość pH. Tok postępowania przedstawiono poniżej:

$$[H^+] = 10^{-pH}$$

[H$^+$] – stężenie jonów wodorowych [g·dm^{-3}]

lub

$$[H^+] = 10^{6-pH}$$

[H$^+$] – stężenie jonów wodorowych [μg·dm^{-3}]

Następnie oblicza się średnią ważoną ze stężeń jonów wodorowych według wzoru podanego dla innych składników i powtórnie oblicza się wartość średnią *pH* według wzoru:

$$pH_{sr} = -\log\ [H^+]_{sr}$$

Wielkości ładunków wnoszonych z opadami podkoronowymi do podłoża są funkcją stężeń poszczególnych składników i wysokości opadów, a oblicza się je według wzoru:

$$L_i = C_i' \cdot h$$

L_i – ładunek *i*-tej substancji wniesiony do podłoża z opadem w danym okresie pomiarowym [mg·m^{-2}] lub [μg·m^{-2}],

C_i' – stężenie *i*-tej substancji w próbce opadu zebranej w danym okresie pomiarowym [mg·dm^{-3}] lub [μg·dm^{-3}],

h – suma wysokości opadu w danym okresie pomiarowym, dla którego obliczany jest ładunek [mm]; wysokość opadu w mm odpowiada liczbie dm^3 wody przypadających na 1 m^2 powierzchni; wysokość opadu jest szacowana na podstawie objętości zebranych próbek.

Dla badanych w opadach podkoronowych składników oblicza się współczynniki koncentracji, określone jako stosunek stężenia danego składnika w opadzie podkoronowym w danym okresie do odpowiadającego mu stężenia tego składnika (w tym samym okresie) w opadzie na otwartej przestrzeni (wartość 1,0 odpowiada stężeniu w opadzie podkoronowym równemu temu, które zostało zmierzone w opadzie na otwartej przestrzeni). Współczynniki te określają stopień modyfikacji składu opadów po przejściu przez korony drzew wskutek zmywania i wymywania zanieczyszczeń z liści, igieł, gałęzi itp.

6.4.4. Kontrola i weryfikacja danych

Wielkość zebranej próbki opadu podkoronowego powinna być porównywana z wysokością opadu na otwartej przestrzeni. Stanowi to ocenę intercepcji, ale także element kontroli jakości wyników pomiarów.

Weryfikując dane, należy obserwować tendencje zmian w stosunku do wartości z lat wcześniejszych. Bardzo przydatnym narzędziem kontroli jest więc analiza graficzna, pozwalająca wychwycić wartości odstające w kontrolowanych seriach pomiarowych. Pomocna jest też kontrola relacji pomiędzy stężeniami badanych składników w opadach podkoronowych i opadach na otwartej przestrzeni.

Istotną rolę w procesie kontroli i weryfikacji danych odgrywa dokumentacja procesu pobierania próbek – wszelkie nietypowe zjawiska i wydarzenia mogące mieć wpływ na jakość wyników powinny zostać odnotowane, a informacje pomogą ocenić jakość wyników i ewentualnie zastosować właściwe flagi jakości danych.

6.4.5. Raportowanie danych do bazy danych

Raportowanie danych do Centralnej Bazy Danych ZMŚP powinno odbywać się zgodnie z aktualnymi wytycznymi. Przykładowy arkusz danych dla programu obligatoryjnego zaprezentowano w tabeli 6.4.4.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- Wszystkie oznaczenia przekazywane do bazy powinny zostać wykonane w próbce zbieranej w ten sam sposób (czas ekspozycji kolektorów). Jeżeli dotychczas wykonywano oznaczenia wybranych parametrów po okresie krótszym od okresu pomiarowego, np. po tygodniu, i podawano jako średnie miesięczne, w celu zachowania ciągłości serii nadal należy raportować te dane do bazy danych.

Tabela 6.4.4. Zapis danych w bazie danych, program C2 – Chemizm opadu podkoronowego. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
C2	XXZM	SG	008	PINU SYL	B4	110	2017–10-00	12	CA	DB	1,00			F1	DB	AAF	DB	mg/l	
C2	XXZM	SG	008	PINU SYL	B4	110	2017–11-00	12	CA	DB		M2		F1	DB	AAF	DB	mg/l	
C2	XXZM	SG	008	PINU SYL	B4	110	2017-06-00	12	CL	DB	1,76			F1	DB	IC	DB	mg/l	
C2	XXZM	SW	011	ABIE ALB	B4	100	2019-08-00	5	CA	DB	2,01		W	F	DB	IC	DB	mg/l	
C2	XXZM	SW	011	ABIE ALB	B4	100	2019-09-00	5	CA	DB	3,25		W	F	DB	IC	DB	mg/l	
C2	XXZM	IE	009	FAGU SYL	B4	150	2018-05-00	3	CA	DB	0,62			F1	DB	PLE	DB	mg/l	
C2	XXZM	IE	009	FAGU SYL	B4	150	2018-06-00	3	CA	DB	0,75			F1	DB	PLE	DB	mg/l	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium – drzewa, pole obligatoryjne (Programy/Media [kategoria – drzewa]), F (LM) – kod listy medium, pole obligatoryjne, G (POZ) – wysokość w cm nad powierzchnią terenu powierzchni wlotowej kolektora, pole obligatoryjne, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-00, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru – liczba kolektorów, z których pobierane są próbki, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole opcjonalne (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole opcjonalne (Opisy/Metody przygotowania próby), P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, obligatoryjne, jeżeli podano metodę wstępnego przygotowania, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole obligatoryjne (poza parametrem RR_TF) (Opisy/Metody pomiarowe) (Instytucje/Laboratoria), R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole obligatoryjne (poza parametrem RR_TF), S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole niewykorzystywane w tym programie.

- W danych przekazywanych do bazy danych podajemy formę pierwiastkową: $S\text{-}SO_4$, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$.
- W przypadku próbek zlewnych kolumna typ danych pozostaje pusta. Jeżeli pomiar danego parametru jest wykonywany częściej niż raz w miesiącu i do bazy przekazywana jest wartość średnia ważona, w kolumnie typ danych umieszczamy kod W. Dla wysokości opadu podkoronowego (RR_TF) w kolumnie typ danych umieszczamy kod S (suma).
- Jeżeli w danym miesiącu nie było opadów w lesie, wówczas dla parametru RR_TF podajemy wartość 0, natomiast dla pozostałych parametrów pozostawiamy pustą komórkę i umieszczamy kod M1 (brak zjawiska) w kolumnie jakość danych.

Literatura

Manual for Integrated Monitoring, 1998. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air pollution Effects on Ecosystems. ICP IM Programme Centre Helsinki (www.syke.fi/nature/icpim).

Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest, 2016. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air pollution Effects on Forest (http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual).

Manual for The GAW Precipitation Chemistry Programme 2004: Guidelines. Data Quality Objectives and Standard Operating Procedures, 160 (https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9287).

6.5. Program C3 – Chemizm spływu po pniach

Anna Degórska, Ewa Żyfka-Zagrodzińska

Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie

6.5.1. Wprowadzenie, cel pomiarów

Na obszarach leśnych część opadów zatrzymywana jest przez korony drzew (intercepcja), część zaś dociera do dna lasu. Spływ po pniach drzew – woda spływająca po gałęziach i pniach – poprzez kontakt z powierzchnią roślin zmienia znacznie właściwości fizykochemiczne i chemiczne opadu w lesie. Wpływają na to zarówno osadzone w warstwie koron aerozole i pyły, jak i procesy fizjologiczne: roślina może zarówno pobierać z wód opadowych niektóre składniki, jak i je do nich wprowadzać. Zbilansowanie obiegu materii na obszarach leśnych wymaga zatem określenia ładunków zarówno w opadzie na terenie otwartym, jak i w strefie koron i pni drzew (opad podkoronowy i spływ po pniach).

Program pomiarowy C3 – Chemizm spływu po pniach – powinien być realizowany obowiązkowo dla zbiorowisk lasów liściastych i mieszanych, a przy ich braku – dla zbiorowisk iglastych.

6.5.2. Zakres parametrów pomiarowych

Tabela 6.5.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego C3 – Chemizm spływu po pniach

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów/czas uśredniania
Spływ po pniach drzew	RR_SF	ZM	mm, 1	12/rok
Przewodność elektrolityczna właściwa	COND	DB	$mS \cdot m^{-1}$, 1	12/rok z próbek tygodniowych
Odczyn (pH)	PH	DB	[–], 2	
Zasadowość (jeżeli pH > 5,0)	ALK	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Siarka siarczanowa S-SO_4	SO4S	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Azot azotanowy N-NO_3	NO3N	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Azot amonowy N-NH_4	NH4N	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Chlorki Cl	CL	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Sód Na	NA	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Potas K	K	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Wapń Ca	CA	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Magnez Mg	MG	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	

Tabela 6.5.2. Parametry rozszerzone programu pomiarowego C3 – Chemizm spływu po pniach

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów/czas uśredniania
Rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	12/rok z próbek tygodniowych
Fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 0	
Kadm Cd	CD	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Miedź Cu	CU	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Ołów Pb	PB	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Mangan Mn	MN	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Żelazo Fe	FE	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Cynk Zn	ZN	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Nikiel Ni	NI	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Arsen As	AS	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Chrom Cr	CR	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Glin Al	AL	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	

W zbiorczych próbkach spływu po pniach poszczególnych gatunków drzew powinny być oznaczane wszystkie składniki i parametry wskazane w programie obligatoryjnym (nawet, jeśli wykonywane są pomiary pH w próbkach z poszczególnych kolektorów przed zlaniem próbek).

6.5.3. Metodyka

Monitoring chemizmu spływu po pniach powinien być realizowany w zbiorowisku leśnym, które odzwierciedla strukturę gatunkową i wiekową lasów na obszarze zlewni reprezentatywnej. Analizie powinny podlegać próbki spływu po pniach drzew gatunków dominujących w zlewni reprezentatywnej Stacji Bazowej.

Próbki spływów pobiera się do kolektorów, zlokalizowanych pod drzewami wybranych gatunków.

6.5.3.1. Wymagania dla stanowisk pomiarowych

Kolektory spływu po pniach instaluje się na drzewach należących do dominującego gatunku w pobliżu stałych powierzchni monitoringu opadów podkoronowych, roztworów glebowych, opadu organicznego i gleb.

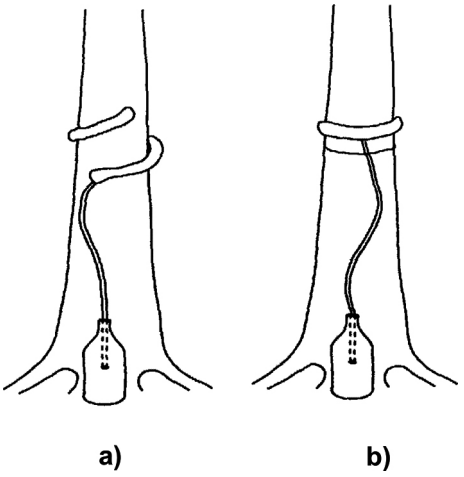
Wybrane dla pomiaru spływu po pniach drzewa powinny reprezentować zakres wiekowy wybranego gatunku. Dalsze zasady pobierania próbek spływu po pniach są analogiczne jak w przypadku opadu podkoronowego.

W przypadku pobierania próbek spływu po pniach reprezentujących różne gatunki drzew nie należy łączyć próbek zebranych z drzew różnych gatunków. Niedopuszczalne jest również łączenie próbek spływu po pniach z opadem podkoronowym.

Zaleca się, aby liczba kolektorów nie była mniejsza niż 5 chwytaczy dla każdego monitorowanego gatunku drzew. Objętość spływu jest bardzo zróżnicowana między gatunkami drzew. W przypadku buka, należącego do grupy drzew o gałęziach wznoszących się, obserwuje się efekt lejka (koncentrację wody przy pniu), a spływ po pniach stanowi od 10 do 40% opadu na dnie lasu. W przypadku świerka, będącego w grupie drzew z gałęziami opadającymi, ma miejsce rozpraszanie wody i spływ nie przekracza 1% opadu. Spływ po pniach sosen jest zazwyczaj wyższy niż po pniach świerków.

6.5.3.2. Aparatura i wyposażenie pomiarowe

Do zbierania próbek spływu zakłada się na pniach opaski spiralne lub kołnierzowe z węża wykonanego z tworzywa (które nie wchodzi w reakcję ze zbieranymi próbkami), a zebraną wodę odprowadza się do zbiornika/kolektora za pomocą giętkich węży polietylenowych (ryc. 6.5.1, 6.5.2) wykonanych z materiałów elastycznych, zapewniających dostosowanie się do przyrostu obwodu pnia. Jako substancję przytwierdzającą wąż do pnia można stosować silikon. Podczas instalacji opasek należy uważać, by nie dopuścić do zanieczyszczenia próbek spływu przez soki drzewa. Zaleca się przyklejenie ich za pomocą silikonu, a nie przybijanie do pnia. Kolektory należy montować u podstawy pni, natomiast opaski powinny się znajdować na wysokości pierśnicy. Objętość kolektorów powinna być dostoso-



Ryc. 6.5.1. Kolektory spływu po pniach: a – spiralny, b – kołnierzowy

Ryc. 6.5.2. Przykładowa konstrukcja kolektora spływu po pniach

wana do objętości spływu. W przypadku buków oraz grabów pomiar objętości spływu wymagać może instalacji dwóch kolektorów o pojemności 50–60 dm^3, lub większej, przy każdym pniu. Dla gatunków iglastych zbiorniki mogą być mniejsze.

6.5.3.3. Zasady pobierania próbek spływu po pniach

Próbki spływu powinny być pobierane w interwałach tygodniowych i do analizy łączone do próbek miesięcznych, proporcjonalnie do ich wielkości (zarówno dla poszczególnych stanowisk w danym tygodniu, jak i dla poszczególnych tygodni). Nie jest dopuszczalne zbieranie na stanowisku pomiarowym próbek przez cały miesiąc ze względu na zachodzące w wodzie opadowej w tym okresie nieodwracalne zmiany fizykochemiczne, dające fałszywy obraz składu opadów. Okresy tygodniowe na przełomie miesiąca ulegają wydłużeniu lub skróceniu, tak by było możliwe zamknięcie okresu pomiarowego w miesiącu kalendarzowym.

Próbki tygodniowe należy zbierać do miesięcznych w tych samych terminach, jak w przypadku opadu na terenie otwartym i opadu podkoronowego.

Dla każdego kolektora należy zmierzyć objętość zebranego spływu; pomiar można wykonać w terenie lub po przeniesieniu kolektora do budynku Stacji Bazowej (zwłaszcza zimą). Opróżniony kolektor należy opłukać wodą dejonizowaną. Zmierzoną objętość spływu należy przeliczyć na wysokość (wyrażoną w mm) i obliczyć średnią wysokość opadu dla danego gatunku drzewa.

Przed zlaniem próbek do próbki zbiorczej, jeżeli pozwala na to ich objętość, wskazane jest wykonanie pomiaru przewodności elektrolitycznej właściwej oraz

pH. W tym celu po zmierzeniu objętości próbki należy odlać jej część z kolektora do zlewki (przy małych próbkach zachowując proporcję objętości opadu między kolektorami) i wykonać pomiar przewodności, a następnie pH (inna kolejność jest niedozwolona). Po wykonaniu pomiaru próbkę ze zlewki należy wylać, gdyż stosowanie elektrod pH-metrycznych (wypełnionych stężonym KCl) może spowodować zanieczyszczenie próbek. Próbki, w których wartość pH/przewodności przekracza wartość potrójnego odchylenia standardowego (kryterium dla wartości odstających) wyników dla tych wielkości z roku ubiegłego, należy wylać, zapisując uprzednio informację o objętości tych próbek. Próbki, dla których uzyskane wartości pH i przewodności odbiegałyby znacząco od obserwowanego zakresu, a woda w kolektorze charakteryzowałaby się zapachem gnilnym i znacznym zmętnieniem, należy wylać. Wymienione cechy mogą wskazywać na silne zanieczyszczenie próbki związkami organicznymi (odchody ptasie, rozkładające się organizmy itp.).

Zebrane na poszczególnych gatunkach drzew próbki należy zmieszać w całości lub we właściwych proporcjach – odpowiadających objętości próbek w kolektorach. Następnie należy próbkę zbiorczą (odlaną, zmieszaną) przesączyć przez filtr membranowy o średnicy porów 0,45 μm.

Przesączone tygodniowe próbki zbiorcze (dla poszczególnych gatunków drzew) należy przechowywać we właściwych warunkach: w niskiej temperaturze (2–8°C) i bez możliwości ich zanieczyszczenia – w chłodziarce. Po upływie okresu miesięcznego z próbek tygodniowych, po odpowiednim wymieszaniu zawartości naczyń z próbkami tygodniowymi, należy sporządzić próbkę miesięczną i odlać właściwą ilość wody do analizy, zgodnie z zaleceniem laboratorium analitycznego. Próbki można zlewać w całości, ale ze względu na dużą objętość (zwłaszcza dla spływu po grabach lub bukach) można stosować metodę proporcjonalnego mieszania podczas zlewania zarówno próbek tygodniowych, jak i miesięcznych. Pojemniki (butelki), w których próbki będą transportowane do laboratorium, powinny być odpowiednio przez to laboratorium przygotowane. W podpróbce odlanej z próbki zbiorczej należy zmierzyć pH i przewodność – na Stacji lub w laboratorium wykonującym pozostałe analizy. Uzyskany dla próbki zbiorczej komplet oznaczeń powinien być wykorzystywany do dalszych opracowań, do oceny jakości wyników oraz przekazany do bazy danych.

Po przelaniu próbek opadu opróżnione naczynie kolektora (oraz naczynie zbiorcze na próbki zlewane) opłukać wodą dejonizowaną, intensywnie nim poruszając.

Raz w miesiącu (po zamknięciu miesięcznego okresu pomiarowego) umyć opaskę, lejek i przewód łączący oraz zbiornik.

Podczas pobierania próbek należy stosować odpowiednie zasady zachowania czystości. Cały sprzęt (lejek i pojemniki na opady, butelki itp.) powinien być starannie myty (z wykorzystaniem detergentów, gąbek), a następnie płukany w wodzie dejonizowanej (pojemniki na próbki przeznaczone do oznaczania metali ciężkich – w 2-procentowym HNO_3), potem suszony i przechowywany w sposób uniemożliwiający jego zanieczyszczenie. Wszystkie manipulacje sprzętem powinny być wykonywane tak, aby uniknąć jego zanieczyszczenia. Należy zwracać

baczną uwagę, aby nie dotykać dłońmi powierzchni stykających się z próbką opadu. Zalecane jest używanie jednorazowych rękawiczek (z obojętnego tworzywa sztucznego).

Jeśli w kolektorach zebrano próbki śniegu lub próbki zamarzły, należy je przenieść do pomieszczenia i stopić. Czynność tę należy wykonać w temperaturze pokojowej. Unikać topienia próbek przy użyciu aparatury powodującej nadmierne skoki temperatury, parowanie próbek i zmiany ich składu chemicznego. Po stopieniu się śniegu lub lodu należy postępować z zebranymi próbkami tak, jak opisano powyżej.

Informacje związane z pobieraniem próbek i nietypowymi warunkami, w jakich ono się odbywało (np. bardzo silny wiatr, mogący powodować zanieczyszczenie zbieranych próbek, lokalne zanieczyszczenie powietrza, przelanie kolektora, zanieczyszczenie próbek), powinny być notowane.

Jeśli próbki przekazywane są do zewnętrznego laboratorium, to powinno ono określić warunki transportu próbek (odpowiednie izolowane pojemniki, lodówki transportowe, wkłady chłodzące); do laboratorium należy wraz z próbkami przekazać dokumentację umożliwiającą jednoznaczną identyfikację próbek (Stacja Bazowa, okres pobierania, dodatkowe informacje dotyczące próbek i nietypowych warunków ich pobierania – informacja niezbędna do poprawnej oceny jakości wyników badań).

6.5.3.4. Zalecane metody analityczne

W tabeli 6.5.3 przedstawiono zestawienie zalecanych metod oznaczeń badanych parametrów i składników oraz metod alternatywnych.

Tabela 6.5.3. Zalecane metody oznaczeń badanych parametrów i składników oraz metody alternatywne

Składnik	Zalecana metoda oznaczania	Alternatywna metoda oznaczania
pH	elektrometria	
Przewodność elektrolityczna właściwa	konduktometria	
SO_4	chromatografia jonowa	miareczkowanie konduktometryczne
NO_3	chromatografia jonowa	elektroforeza kapilarna
Cl	chromatografia jonowa	elektroforeza kapilarna
NH_4	spektrofotometria	chromatografia jonowa
Na	ICP-AES	chromatografia jonowa
K	ICP-AES	chromatografia jonowa
Mg	ICP-AES	chromatografia jonowa
Ca	ICP-AES	chromatografia jonowa
Al	ICP-AES	spektrofotometria
$P_{ogól.}$	ICP-AES	spektrofotometria
Fe	ICP-AES	spektrofotometria/ICP-MS

Składnik	Zalecana metoda oznaczania	Alternatywna metoda oznaczania
Mn	ICP-AES	kolorymetria/ICP-MS
Pozostałe metale ciężkie: As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	ICP-MS	ICP AES, GF-AAS

ICP-AES – plazmowa spektrometria atomowa emisyjna,
ICP-MS – spektrometria masowa z plazmą wzbudzaną indukcyjnie,
GF-AAS – spektrometria atomowa z kuwetą grafitową.

6.5.3.5. Metody obliczeń parametrów

Przeliczenia objętości spływu po pniach na wysokość warstwy wody należy dokonać według wzoru:

$$RR\_SF\ [\mathrm{mm}] = \frac{n \cdot \frac{a}{b}}{P}$$

n – suma objętości spływu po pniach ze wszystkich stanowisk pomiarowych [dm^3],
a – suma powierzchni przekrojów poprzecznych wszystkich drzew na poletku [m^2],
b – suma powierzchni przekrojów poprzecznych drzew – stanowisk do pomiaru spływu [m^2],
P – powierzchnia poletka testowego [m^2].

Podane wielkości odnoszą się wyłącznie do jednego gatunku drzew.

Średnie (w czasie) wartości stężenia badanych składników spływu po pniach oraz średnie wartości odczynu i przewodności elektrolitycznej właściwej wyrażane są jako średnie ważone, gdzie wagą jest wielkość próbki spływu.

6.5.4. Kontrola i weryfikacja danych

Wielkość zebranej próbki spływu powinna być porównywana z wysokością opadu na otwartej przestrzeni.

Weryfikując dane, należy obserwować tendencje zmian w stosunku do wyników z lat wcześniejszych. Bardzo przydatnym narzędziem kontroli jest więc analiza graficzna, pozwalająca wychwycić wartości odstające w kontrolowanych seriach pomiarowych. Pomocna jest też kontrola korelacji pomiędzy stężeniami badanych składników w spływie po pniach i opadach na otwartej przestrzeni.

Istotną rolę w procesie kontroli i weryfikacji danych odgrywa dokumentacja procesu pobierania próbek – wszelkie nietypowe zjawiska meteorologiczne i wydarzenia mogące mieć wpływ na jakość wyników (np. przelanie kolektorów, zanieczyszczenie próbek, skrócenie lub wydłużenie okresu pobierania próbek) powinny zostać odnotowane. Informacje te pomogą ocenić jakość wyników i ewentualnie wskazać konieczność zastosowania flagi jakości danych.

6.5.5. Raportowanie danych do bazy danych

Raportowanie danych do Centralnej Bazy Danych ZMŚP powinno odbywać się zgodnie z aktualnymi wytycznymi. Przykładowy arkusz danych dla programu obligatoryjnego zaprezentowano w tabeli 6.5.4.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- Wszystkie oznaczenia przekazywane do bazy powinny zostać wykonane w próbce zbieranej w ten sam sposób (czas ekspozycji kolektorów). Jeżeli dotychczas wykonywano oznaczenia wybranych parametrów po okresie krótszym od okresu pomiarowego, np. po tygodniu, i podawano jako średnie miesięczne, w celu zachowania ciągłości serii nadal należy raportować te dane do bazy danych.
- Jeżeli oznaczenia wykonywane są w próbce zbiorczej (zlewanej z całego okresu pomiarowego), kolumna typ danych pozostaje pusta.
- W danych przekazywanych do bazy danych podajemy formę pierwiastkową: $S\text{-}SO_4$, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$.
- W przypadku próbek zlewnych kolumna typ danych pozostaje pusta. Jeżeli pomiar danego parametru jest wykonywany częściej niż raz w miesiącu i do bazy przekazywana jest wartość średnia ważona, w kolumnie typ danych umieszczamy kod W. Dla wysokości spływu po pniach (RR_SF) w kolumnie typ danych umieszczamy kod S (suma).
- Jeżeli w danym miesiącu nie było opadów w lesie, wówczas dla RR_SF podajemy wartość 0, natomiast dla pozostałych parametrów pozostawiamy pustą komórkę i umieszczamy kod M1 (brak zjawiska) w kolumnie jakość danych.

Literatura

Manual for Integrated Monitoring, 1998. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air pollution Effects on Ecosystems. ICP IM Programme Centre Helsinki (www.syke.fi/nature/icpim).

Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest, 2016. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air pollution Effects on Forest (http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual).

Manual for The GAW Precipitation Chemistry Programme 2004: Guidelines. Data Quality Objectives and Standard Operating Procedures, 160 (https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9287).

Tabela 6.5.4. Zapis danych w bazie danych, program C3 – Chemizm spływu po pniach. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
C3	XXZM	SW	013	ABIE ALB	B4	130	2019-01-00	5	CA	DB		M1	W			IC	DB	mg/l	
C3	XXZM	SW	013	ABIE ALB	B4	130	2019-02-00	5	CA	DB	14,61		W	F	DB	IC	DB	mg/l	
C3	XXZM	SW	013	ABIE ALB	B4	130	2019–10-00	5	CL	DB	15,67		W	F	DB	IC	DB	mg/l	
C3	XXZM	IG	012	CARP BET	B4	150	2019–12-00	4	NO3N	DB	1,74			F3	DB	IC	DB	mg/l	
C3	XXZM	IG	012	CARP BET	B4	150	2019-01-00	4	PH	DB		M1	W			EL	DB	[–]	
C3	XXZM	IE	009	FAGU SYL	B4	150	2018-05-00	3	CA	DB	0,62			F1	DB	PLE	DB	mg/l	
C3	XXZM	IE	009	FAGU SYL	B4	150	2018-06-00	3	CA	DB	0,75			F1	DB	PLE	DB	mg/l	
C3	XXZM	KR	009	FAGU SYL	B4	150	2018–12-00	3	RR_SF	ZM	28,8		S					mm	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium, pole obligatoryjne (Programy/Media [kategoria – drzewa]), F (LM) – kod listy medium, pole obligatoryjne, G (POZ) – wysokość w cm nad powierzchnią terenu, umieszczenia węża zbierającego spływ na pniu drzewa, pole obligatoryjne, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-00, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru – liczba kolektorów, z których pobierane są próbki, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole opcjonalne (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole opcjonalne (Opisy/Metody przygotowania próby), P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, obligatoryjne, jeżeli podano metodę wstępnego przygotowania, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole obligatoryjne (poza parametrem RR_SF) (Opisy/Metody pomiarowe) (Instytucje/Laboratoria), R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole obligatoryjne (poza parametrem RR_SF), S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole niewykorzystywane w tym programie.

6.6. Program D1 – Metale ciężkie i siarka w porostach

Małgorzata Jóźwiak

Europejski Instytut Kształcenia Podyplomowego

6.6.1. Wprowadzenie, cel pomiarów

Aktywność człowieka związana z realizacją jego potrzeb życiowych niesie ze sobą nie tylko korzyści gospodarcze, ekonomiczne i społeczne, ale jest także przyczyną zwiększenia emisji do powietrza atmosferycznego szkodliwych substancji uznawanych za niebezpieczne dla organizmów żywych, głównie z uwagi na ich toksyczność.

Zanieczyszczenie powietrza gazami i pyłem zawieszonym bada się przy użyciu metod referencyjnych i specjalistycznej automatycznej lub półautomatycznej aparatury, a w przypadku analiz laboratoryjnych przy zastosowaniu procedur analitycznych. Takie tradycyjne podejście oparte na wykorzystaniu aparatury pomiarowej nie daje jednak pełnej informacji na temat reakcji organizmów żywych na zanieczyszczenia. Dlatego też w ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój technik bioanalitycznych opartych na wykorzystywaniu organizmów żywych jako biowskaźników. Obserwacje, analizy jakościowe i ilościowe organizmów w ich naturalnych warunkach siedliskowych pozwalają na określenie stanu środowiska przyrodniczego.

Organizmy wykazujące cechy bioindykatorów w charakterystyczny dla siebie sposób reagują na zmiany w biotopie. Są to najczęściej organizmy o dużej wrażliwości na substancje toksyczne lub odwrotnie, tzn. wykazujące wysoki stopień tolerancji względem wprowadzanych do biotopu toksyn. Tolerancja ta polega na zdolności bioindykatorów do kumulowania zanieczyszczeń w ilościach, które dla innych form życia stanowią wartości letalne (Puckett 1988). Wśród licznych biomonitorów istotne miejsce zajmują porosty (grzyby lichenizujące). Wraz z rozwojem metod analitycznych coraz częściej wykorzystywana jest metoda transplantacji różnych gatunków (Brodo 1981, Calatayud i in. 2000, Conti, Cecchetti 2001, Sawicka-Kapusta i in. 2005, Jóźwiak 2007).

Przenoszenie żywych plech porostowych w tereny zanieczyszczone, ich ekspozycja w wytypowanych punktach w zależności od źródeł emisji, a następnie analiza chemiczna pozwala na określenie zagrożeń z punktu widzenia ochrony zdrowia człowieka.

Badania Sawickiej-Kapusty i in. (2005, 2010), Jóźwiak i Jóźwiak (2009) oraz Jóźwiak (2014) wykazały, że porost pustułka pęcherzykowata (*Hypogymnia physodes)* jest bardzo dobrym bioakumulatorem zanieczyszczeń powietrza w zróżnicowanych warunkach antropopresji. Wybór tego gatunku porostu do badań biomonitoringowych podyktowany został łatwością jego pozyskiwania, charakterystycznymi cechami taksonomicznymi, sposobem pochłaniania zanieczyszczeń na drodze ektohydryczności oraz widocznymi zmianami morfologicznymi spowodowanymi zanieczyszczeniami.

Celem pomiarów jest ocena zanieczyszczeń powietrza siarką i metalami ciężkimi w zróżnicowanych warunkach morfoklimatycznych i antropopresji.

6.6.2. Zakres parametrów pomiarowych

W plechach *Hypogymnia physodes* eksponowanych w dwóch terminach (okres chłodny i ciepły) oznaczana jest siarka i metale ciężkie (kadm, ołów, cynk, miedź, żelazo, chrom i nikiel) (tab. 6.6.1). Wyniki podawane są w $\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy.

Tabela 6.6.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego D1 – Metale ciężkie i siarka w porostach

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Kadm Cd	CD	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 2	1/rok
Ołów Pb	PB	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 1	
Cynk Zn	ZN	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 0	
Miedź Cu	CU	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 1	
Żelazo Fe	FE	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 0	
Chrom Cr	CR	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 1	
Nikiel Ni	NI	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 1	
Siarka S	S	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 0	

6.6.3. Metodyka

Porost pustułka pęcherzykowata jest pozyskiwany na 30-centymetrowych gałązkach pobranych z terenów o małej antropopresji. Aktualnie jest to obszar Puszczy Boreckiej. Gałązki eksponowane są na terenie zlewni ZMŚP w dwóch terminach: 1.05–30.10 (okres ciepły) oraz 1.11–30.04 (okres zimny). Po półrocznym okresie ekspozycji gałązki z porostami są przesyłane do laboratorium, gdzie są przygotowywane do analizy chemicznej. Procedura przygotowania plech do analizy chemicznej polega na oddzieleniu plech od gałązek, na których były eksponowane, oczyszczeniu z kory i poddaniu homogenizacji. Mineralizacji materiału biologicznego dokonuje się w mineralizatorze mikrofalowym.

Analiza chemiczna powinna być przeprowadzona w akredytowanych laboratoriach.

6.6.3.1. Wymagania stanowisk pomiarowych

Gałązki (3 szt.) z porostem *Hypogymnia physodes* powinny być eksponowane na terenie zlewni ZMŚP na wysokości 160–200 cm nad powierzchnią gruntu, na otwartej przestrzeni.

6.6.3.2. Zalecane metody oznaczania metali ciężkich i siarki

Analiza jakościowa i ilościowa zawartości metali ciężkich i siarki powinna być wykonywana w certyfikowanym laboratorium. Materiał biologiczny powinien być suszony w temperaturze pokojowej przez jeden miesiąc, następnie zmielony

w młynku lub utarty w moździerzu i zmineralizowany. Oznaczanie metali ciężkich może być wykonywane z wykorzystaniem ICP-MS/TOF, atomowej spektrometrii absorpcyjnej (ASA) lub metodą rentgenowskiej analizy fluorescencji z całkowitym odbiciem wiązki padającej (TXRF).

Zmiany w budowie morfologicznej *Hypogymnia physodes* można obserwować z wykorzystaniem mikroskopu Nikon SMZ 1500 z zastosowaniem programu NIS – Elements BR oraz mikroskopu Nikon A2100.

6.6.4. Interpretacja wyników

O stopniu zanieczyszczenia powietrza decydują dwa główne czynniki: wielkość i rodzaj emisji oraz warunki meteorologiczne warunkujące rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń. Najważniejsze z punktu widzenia obecności metali ciężkich w powietrzu są wielkość emisji oraz zanieczyszczenia pyłowe, które są punktem kondensacji metali ciężkich.

Do prawidłowej interpretacji uzyskanych wyników niezbędne jest pozyskanie danych dotyczących wielkości emisji gazowych i pyłowych oraz warunków meteorologicznych występujących na obszarze zlewni ZMŚP.

W celu określenia trendów, korelacji oraz poziomów istotności statystycznej między oznaczanymi parametrami zebrane dane poddawane są analizie statystycznej.

6.6.4.1. Zmiany morfologiczne porostu po ekspozycji

W eksponowanych plechach porostu *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. można stwierdzić makroskopowe zmiany morfologiczne w postaci: zaczernień (ryc. 6.6.1, 6.6.2), zbieleń (ryc. 6.6.3) i zbrązowień oraz zmiany w strukturze plech: nekrozy, wykruszenia (ryc. 6.6.4), odkształcenia (ryc. 6.6.5) i zwijanie rozet, zanik soraliów wargowych (ryc. 6.6.6). Najczęściej występujące zmiany to przebarwienia plech.

6.6.5. Raportowanie danych do bazy danych

Raportowanie danych do Centralnej Bazy Danych ZMŚP powinno odbywać się zgodnie z aktualnymi wytycznymi. Przykładowy arkusz danych dla programu obligatoryjnego zaprezentowano w tabeli 6.6.2.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- W kolumnie medium dla ekspozycji zimowej podajemy TRANS_Z, dla ekspozycji letniej TRANS_L. Lista kodowa ZM.
- W kolumnie poziom (POZ) podajemy wysokość w cm ekspozycji gałązek z porostami.
- Kolumna typ danych pozostaje pusta.
- W kolumnie skala (SK) podajemy liczbę gałązek z porostami.
- W kolumnie DATA podajemy datę zbioru próbek porostu w formacie RRRR-MM-DD.

Ryc. 6.6.1. Zaczernienia plechy po 6-miesięcznej ekspozycji (fot. M.A. Jóźwiak)

Ryc. 6.6.2. Zaczernienia plechy stwierdzone na próbkach po 6-miesięcznej ekspozycji (fot. M.A. Jóźwiak)

Ryc. 6.6.3. Zbielenia na plesze porostu po 6-miesięcznej ekspozycji (fot. M.A. Jóźwiak)

Ryc. 6.6.4. Wykruszenia i zmiany w soraliach wargowych oraz zaczernienia plechy po 6-miesięcznej ekspozycji (fot. M.A. Jóźwiak)

Ryc. 6.6.5. Wygięcia, deformacja rozetek plechy, wykruszenia plech porostu po 6-miesięcznej ekspozycji (fot. M.A. Jóźwiak)

Ryc. 6.6.6. Zmiany w soraliach wargowych (nekrozy i wykruszania) po 6-miesięcznej ekspozycji (fot. M.A. Jóźwiak)

Tabela 6.6.2. Zapis danych w bazie danych, program D1 – Metale ciężkie i siarka w porostach. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
D1	XXZM	MR	005	TRANS_L	ZM	200	2018–10–25	4	CD	DB	0,18			D2	DB	XRF	ZM	ug/g suchej masy	
D1	XXZM	MR	005	TRANS_Z	ZM	200	2018-04–22	4	NI	DB	0,621			D2	DB	XRF	ZM	ug/g suchej masy	
D1	XXZM	MR	005	TRANS_L	ZM	200	2018–10–25	4	FE	DB	135,47			D2	DB	XRF	ZM	ug/g suchej masy	
D1	XXZM	MR	005	TRANS_Z	ZM	200	2018-04–22	4	S	DB	346,11			D2	DB	XRF	ZM	ug/g suchej masy	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium, pole obligatoryjne (Programy/Media [kategoria – frakcje]), F (LM) – kod listy medium, pole obligatoryjne, G (POZ) – wysokość w cm ekspozycji porostów, pole obligatoryjne, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-DD, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru (liczba gałązek z porostami), pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole niewykorzystywane w tym programie (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole opcjonalne (Opisy/Metody przygotowania próby), P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, obligatoryjne, jeżeli podano metodę wstępnego przygotowania, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole obligatoryjne (Opisy/Metody pomiarowe) (Instytucje/Laboratoria), R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole obligatoryjne, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole niewykorzystywane w tym programie.

Literatura

Brodo I.M., 1961. Transplanted experiments with corticolus lichens using a new technique. Ecology, 42: 838–841.

Calatayud A., Temple P.J., Barrend E., 2000. Chlorophyll a fluorescence emission, xanthophyll cycle activity, and net photosynthetic rate responsesto ozone in some foliose and friutcose lichen species. Photosyntetica, 38: 281–286.

Conti M.E., Cecchetti G., 2001. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. Environmental Pollution, 114: 471–492.

Jóźwiak M., 2007. Kumulacja metali ciężkich i zmiany morfologiczne porostu *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 8/07: 51–56.

Jóźwiak M.A., 2014. Wykorzystanie organizmów wskaźnikowych w bioindykacji środowisk lądowych i wodnych na wybranych przykładach. Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Oddział Krakowski PAN.

Jóźwiak M.A., Jóźwiak M., 2009. Influence of cement industry on accumulation of heavy metals in bioindicators. Ecological Chemistry and Engineering S, 16(3): 323–334.

Puckett K.J., 1988. Bryophytes and lichens as monitors as metal deposition, Lichens, Bryophytes and Air Quality. Bibl. Lichenol., 30: 231–267.

Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., Hajduk.J., 2010. Ocena zanieczyszczenia powietrza Stacji Bazowych ZMŚP metalami ciężkimi i dwutlenkiem siarki w latach 2001–2009 z wykorzystaniem porostu *Hypogymnia physodes*. Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 11: 63–71.

Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Gdula-Argasińska J., Bydłoń G., 2005. Ocena zanieczyszczenia powietrza w rejonie Stacji Bazowych ZMŚP na podstawie stężenia metali ciężkich i siarki w plechach porostu *Hypogymnia physodes* w 2003 roku. W: A. Kostrzewski, R. Kolander (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie geoekosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji. PIOŚ, BMŚ, Poznań: 73–81.

6.7. Program D2 – Metale ciężkie i siarka w mchach

Małgorzata Jóźwiak

Europejski Instytut Kształcenia Podyplomowego

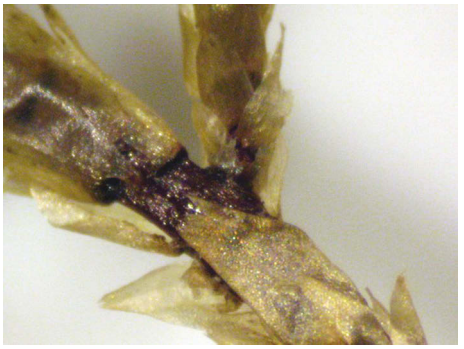
6.7.1. Wprowadzenie, cel pomiarów

Dobrymi wskaźnikami stopnia zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi, a także innymi związkami są między innymi mchy (Grodzińska i in. 1990, Mulgrew i in. 2000, Ashmore i in. 2001, Grodzińska, Szarek-Łukawska 2001, Lechnio, Malinowska 2003, Couto i in. 2004, Poikolainen i in. 2004, Rühling i in. 2004, Szczepaniak i in. 2003, Godzik, Szarek-Łukaszewska 2005, Jóźwiak, Jóźwiak 2009, Jóźwiak 2014). Wiele cech mchów predysponuje je jako biowskaźniki. Na przykład są łatwo rozpoznawalne i mają szeroki zasięg geograficzny, nie po-

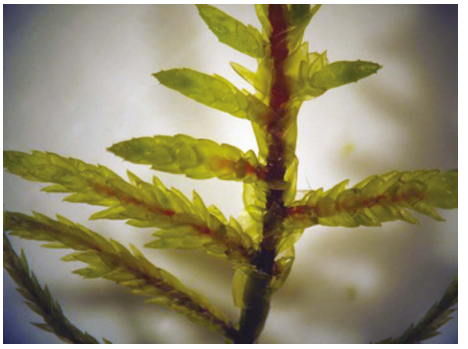
siadają kutikuli i epidermy, co pozwala ich liściom łatwo przyswajać jony metali. Ze względu na brak korzeni i tkanek przewodzących roślina pobiera sole mineralne, ale i zanieczyszczenia występujące w powietrzu (jony metali) bezpośrednio z depozycji mokrej, suchej i wilgotnej. Mchy pobierają wiele substancji z powietrza całą powierzchnią blaszek liściowych (ektohydryczność), odzwierciedlając tym samym zmiany poziomu zanieczyszczenia atmosfery (Panek, Szczepańska 2005). W budowie morfologicznej mchów widoczne są przyrosty roczne tworzące zauważalne segmenty (ryc. 6.7.1), co daje możliwość określania stopnia zanieczyszczenia dla danego okresu pomiarowego. Jednocześnie szerokie zasięgi występowania niektórych gatunków mchów umożliwiają prowadzenie badań i porównywanie wyników dla dużych obszarów (Dmuchowski, Orliński 2003, Harmens, Norris 2008). Badania makroskopowe, mikroskopowe oraz analiza chemiczna kumulacji metali ciężkich w organizmie rokietnika pospolitego *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. dotyczy pokolenia gametofitowego, które jest pokoleniem dominującym, ulistnionym, ektohydrycznym z wyraźnie widocznymi przyrostami rocznymi (ryc. 6.7.2).

Rokietnik pospolity *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. rośnie w borach świerkowych i sosnowych w siedliskach od suchych do bardzo wilgotnych, na glebach kwaśnych. Roślina jest objęta częściową ochroną gatunkową na podstawie rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 9.10.2014 r. w sprawie ochrony gatunkowej roślin. Gametofit rokietnika pospolitego ma ulistnione łodyżki z charakterystycznym czerwonym zabarwieniem (ryc. 6.7.2) oraz listki ułożone dachówkowato, rynienkowato zagłębione z dobrze widocznym żeberkiem. Wyróżnione cechy powodują łatwość w identyfikacji tego gatunku, co w badaniach monitoringowych ma duże znaczenie.

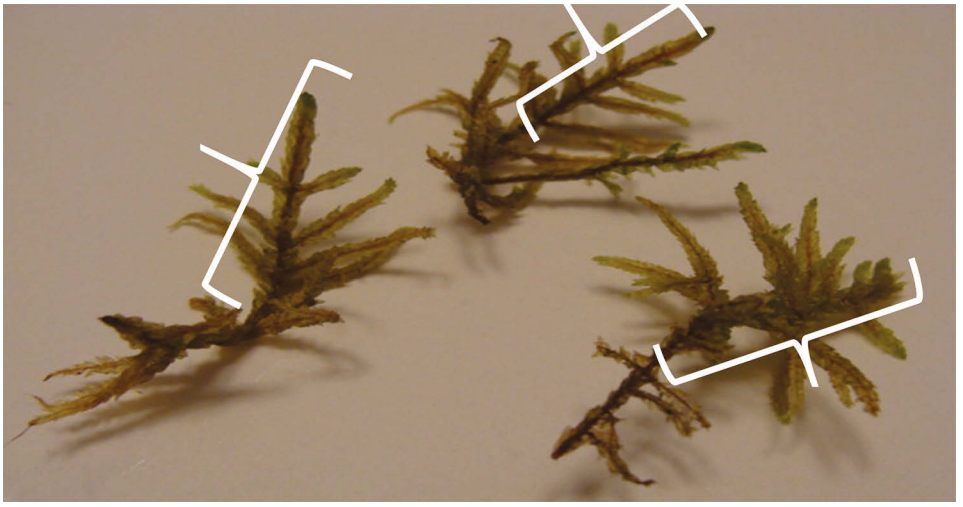
Celem pomiarów jest ocena zanieczyszczenia powietrza siarką i metalami ciężkimi przy wykorzystaniu mchu rokietnika pospolitego (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.) zbieranego w obrębie zlewni ZMŚP.



Ryc. 6.7.1. Rokietnik pospolity *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. z widocznym miejscem odcięcia przyrostu rocznego (fot. M.A. Jóźwiak)



Ryc. 6.7.2. Czerwone zabarwienie łodyżek gametofitu rokietnika pospolitego (fot. M.A. Jóźwiak)



Ryc. 6.7.3. Roczne przyrosty gametofitu rokietnika pospolitego (fot. M.A. Jóźwiak)

6.7.2. Zakres parametrów pomiarowych

Pobrany fragment darni z okazami rokietnika pospolitego powinien mieć wymiary 10 × 10 cm. W materiale biologicznym zebranym w terenie oznacza się siarkę oraz metale ciężkie: kadm, ołów, cynk, miedź, żelazo, chrom i nikiel (tab. 6.7.1). Wyniki podawane są w $\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy.

Tabela 6.7.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego D2 – Metale ciężkie i siarka w mchach

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Kadm Cd	CD	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 2	1/rok
Ołów Pb	PB	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 1	
Cynk Zn	ZN	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 0	
Miedź Cu	CU	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 1	
Żelazo Fe	FE	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 0	
Chrom Cr	CR	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 1	
Nikiel Ni	NI	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 1	
Siarka S	S	DB	$\mu g \cdot g^{-1}$ suchej masy, 0	

6.7.3. Metodyka

Prowadzone badania obejmują mchy naturalnie występujące w zlewniach eksperymentalnych, które powinny być zbierane jeden raz w roku, pod koniec sezonu wegetacyjnego, tj. w trzeciej dekadzie września każdego roku. Do analizy kumu-

lacji metali ciężkich i siarki wykorzystywana jest część zielona mchu (ulistniony gametofit), który musi być zmineralizowany i poddawany analizie chemicznej na zawartość siarki i metali ciężkich. Analiza jakościowa i ilościowa zawartości metali ciężkich powinna być wykonywana w certyfikowanym laboratorium. Zebrane w terenie mchy powinny być poddane również analizie mikroskopowej celem charakterystyki zmian morfologicznych w listkach gametofitu. Opisu zmian dokonuje się na podstawie analizy mikroskopowej materiału biologicznego losowo wybranych okazów zebranych w terenie.

6.7.3.1. Wymagania stanowisk pomiarowych

Do analizy kumulacji metali ciężkich i siarki wykorzystywana jest część zielona mchu rokietnika pospolitego. *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. powinien być zebrany w zlewni ZMŚP z terenu zalesionego. Stanowisko pozyskiwania rokietnika powinno być w odległości nie mniejszej niż 50 m od skraju lasu.

6.7.3.2. Zalecane metody oznaczania metali ciężkich i siarki

Analiza jakościowa i ilościowa zawartości metali ciężkich i siarki powinna być wykonywana w certyfikowanym laboratorium. Materiał biologiczny powinien być suszony w temperaturze pokojowej przez jeden miesiąc, następnie zmielony w młynku lub utarty w moździerzu i zmineralizowany. Oznaczanie metali ciężkich może być wykonywane z wykorzystaniem ICP-MS/TOF, atomowej spektrometrii absorpcyjnej (ASA) lub metodą rentgenowskiej analizy fluorescencji z całkowitym odbiciem wiązki padającej (TXRF).

Oceny zmian w budowie morfologicznej rokietnika pospolitego można dokonywać z wykorzystaniem mikroskopu Nikon SMZ 1500 z zastosowaniem programu NIS – Elements BR oraz mikroskopu Nikon A2100.

6.7.4. Interpretacja wyników

O stopniu zanieczyszczenia powietrza decydują wielkość i rodzaj emisji oraz warunki meteorologiczne określające rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń. Najważniejsze z punktu widzenia obecności metali ciężkich w powietrzu są wielkość emisji oraz stężenie zanieczyszczeń pyłowych, które są punktem kondensacji metali ciężkich.

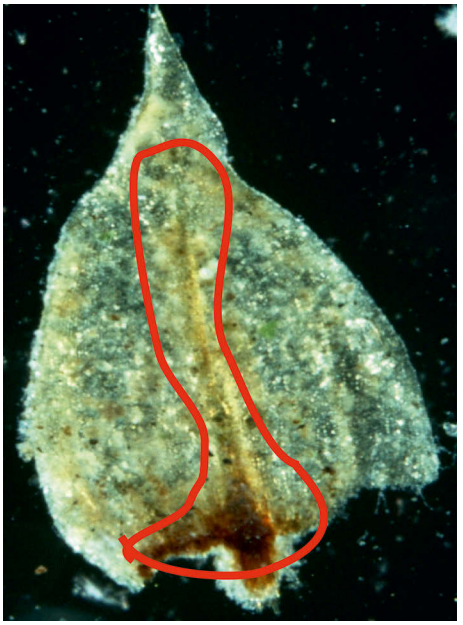
Do prawidłowej interpretacji uzyskanych wyników niezbędne jest pozyskanie danych dotyczących wielkości emisji gazowych i pyłowych oraz warunków meteorologicznych występujących na obszarze zlewni ZMŚP.

W celu określenia trendów, korelacji oraz poziomów istotności statystycznej między oznaczanymi parametrami zebrane dane poddawane są analizie statystycznej.

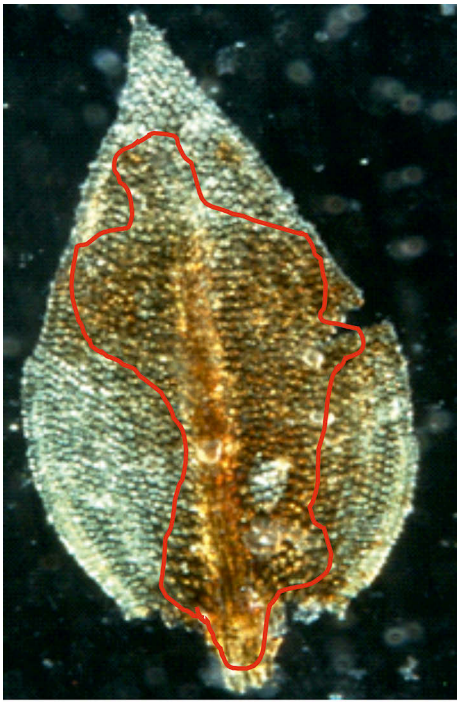
6.7.4.1. Zmiany morfologiczne w listkach mchów

Reakcje rokietnika pospolitego na bodziec środowiskowy objawiają się w komórkach i tkankach, a efektem są wyraźnie widoczne zmiany barwne. W obrazie zmian mikroskopowych listków mchu obserwuje się najczęściej rozległe zmiany

barwne w środkowej części blaszki włącznie z żeberkiem liściowym (ryc. 6.7.4) i nasadą blaszki (ryc. 6.7.5). Przebarwienia mogą wykazywać zróżnicowaną rozległość, która może mieścić się w przedziałach 250–400 μm szerokości listka do 600 μm jego długości, w zależności od wielkości listka.



Ryc. 6.7.4. Zmiany barwne w komórkach rynienki liściowej (fot. M.A. Jóźwiak)



Ryc. 6.7.5. Przebarwienia w komórkach nasady listka i wzdłuż żeberka liściowego (fot. M.A. Jóźwiak)

6.7.5. Raportowanie danych do bazy danych

Raportowanie danych do Centralnej Bazy Danych ZMŚP powinno odbywać się zgodnie z aktualnymi wytycznymi. Przykładowy arkusz danych dla programu obligatoryjnego zaprezentowano w tabeli 6.7.2.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- W kolumnie medium (ME) podajemy kod PLEU SCH, lista kodowa M2.
- W kolumnie poziom (POZ) podajemy 0 cm.
- Kolumna skala (SK) pozostaje pusta.
- Kolumna typ danych (TD) pozostaje pusta.
- W kolumnie DATA umieszczamy datę zebrania mchu w formacie RRRR-MM-DD.

Tabela 6.7.2. Zapis danych w bazie danych, program D2 – Metale ciężkie i siarka w mchach. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
D2	XXZM	MR	005	PLEU SCH	M2	0	2019–10–25		PB	DB	2,8			D2	DB	XRF	ZM	ug/g suchej masy	
D2	XXZM	MR	005	PLEU SCH	M2	0	2019–10–25		CU	DB	33,3			D2	DB	XRF	ZM	ug/g suchej masy	
D2	XXZM	MR	005	PLEU SCH	M2	0	2019–10–25		CR	DB	63,7			D2	DB	XRF	ZM	ug/g suchej masy	
D2	XXZM	MR	005	PLEU SCH	M2	0	2019–10–25		NI	DB	7,0			D2	DB	XRF	ZM	ug/g suchej masy	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium, pole obligatoryjne (Programy/Media [kategoria – mchy]), F (LM) – kod listy medium, pole obligatoryjne, G (POZ) – podajemy 0 cm, pole obligatoryjne, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-DD, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru, pole niewykorzystywane w tym programie, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole niewykorzystywane w tym programie (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole opcjonalne (Opisy/Metody przygotowania próby), P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, obligatoryjne, jeżeli podano metodę wstępnego przygotowania, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole obligatoryjne (Opisy/Metody pomiarowe) (Instytucje/Laboratoria), R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole obligatoryjne, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole niewykorzystywane w tym programie.

Literatura

Ashmore M., Bell S., Fowler D., Hill M., Jordan C., Nemitz E., Parry S., Pugh B., Reynolds B., Williams J., 2001. Survey of UK metal content of mosses 2000. Part II of EPG 1/3/144 final contract report: development of a critical load methodology for toxic metals in soils and surface waters: Stage II. University of Bradford, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, Agricultural and Environmental Science Division, Department of Agriculture and Rural Development, Newforge Lane, Belfast, T.H. Huxley School of Environment, School of Earth Sciences and Geography, Kingston University.

Couto J.A., Fernandez J.A., Carballeira J.R., Aboal A., 2004. Active biomonitoring of element uptake with terrestrial mosses: a comparison of bulk and dry deposition. Science of the Total Environment, 324: 211–222.

Dmuchowski W., Orliński R., 2003. Wstępna ocena poziomu skażenia środowiska wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (WWA) oraz metalami ciężkimi pochodzącymi z transportu drogowego na odcinku drogi krajowej nr 8 pomiędzy Białymstokiem a Augustowem. Polska Akademia Nauk, Warszawa–Powsin: 6–7.

Godzik B., Szarek-Łukaszewska G., 2005. Plant bioindicators in the environmental monitoring. Ecolog. Chem. And Engin., 12(7): 677–693.

Grodzińska K., Szarek G., Godzik B., 1990. Heavy metal deposition in Polish National Parks – changes during ten years. Water, Air and Soil Pollution, 49: 409–419.

Grodzińska K., Szarek-Łukawska G., 2001. Response of mosses to the heavy metal deposition in Poland – an overview. Environmental Pollution, 114: 443–451.

Harmens H., Norris D. (red.), 2008. Spatial and Temporal Trends in Heavy Metal Accumulation in Mosses in Europe (1990–2005). Centre for Ecology and Hydrology, Bangor: 1–51.

Jóźwiak M.A., 2014. Wykorzystanie organizmów wskaźnikowych środowisk lądowych i wodnych na wybranych przykładach. KTN, Kielce.

Jóźwiak M.A., Jóźwiak M., 2009. Influence of cement industry on accumulation of heavy metals in bioindicators, Ecological Chemistry and Engineering S, 16, 3: 323–334.

Lechnio J., Malinowska E., 2003. Wykorzystanie metod biomonitoringu do oceny dostawy atmosferycznej wybranych metali w rejonie płockiego zespołu miejsko-przemysłowego. Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski.

Mulgrew A., Williams P., 2000. Biomonitoring of air quality using plants. Air Hygiene Report, 10. WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control (WHO CC), Berlin, Germany.

Panek E., Szczepańska M., 2003. Metale śladowe i siarka w wybranych gatunkach roślin w Małych Pieninach. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Kraków: 90.

Poikolainen J., Kubin E., Piispanen J., Karhu J., 2004. Atmospheric deposition of heavy metals in Finland in the period 1985–2000 using mosses as bioindicators. Science of the Total Environment, 318: 171–185.

Rühling A., Tyler G., 2004. Changes in the atmospheric deposition of minor and rare elements between 1975 and 2000 in south Sweden, as measured by moss analysis. Environmental Pollution, 131: 417–423.

Szczepaniak K., Biziuk M., 2003. Aspects of the biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution. Environmental Research, 93: 221–230.

6.8. Program E1 – Gleby

Jolanta Komisarek, Jerzy Marcinek, Michał Kozłowski, Katarzyna Wiatrowska

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Gleboznawstwa i Rekultywacji

6.8.1. Wprowadzenie

Pokrywa glebowa i jej zróżnicowanie przestrzenne istnieją obiektywnie w przyrodzie i ewoluują wraz z rozwojem naturalnych i sztucznie wymuszonych procesów glebotwórczych. Dopływ energii do gleby stymuluje obieg materii, który determinuje funkcjonowanie ekosystemów lądowych. Gleba jest reaktorem, buforem, filtrem fizycznym, chemicznym i biologicznym dla różnego rodzaju zanieczyszczeń krążących w środowisku w różnych formach i w różnym stężeniu. Zdolności gleby do neutralizacji substancji zanieczyszczających są jednak ograniczone, determinowane właściwościami gleby modyfikowanymi czynnikami antropogenicznymi.

Stacjonarne badania gleboznawcze na powierzchniach testowych ZMŚP mają na celu rejestrację średniookresowych zjawisk i procesów, które wiążą się z dopływem do gleb różnych substancji, ich przetwarzaniem w glebie i reakcją z materiałami glebowymi. Istnieje bowiem skomplikowana współzależność pomiędzy chemizmem gleb a dynamiką wody glebowej w strefie nienasyconej i przepływem przez glebę produktów wytwarzanych przez procesy glebowe w cyklach rocznych. Uchwycenie tych zjawisk jest trudne, a ich opis ilościowy wymaga żmudnych badań stacjonarnych i eliminacji błędów płynących z niedokładności metod badawczych oraz naturalnej zmienności przestrzennej modyfikowanej silną antropopresją.

W rozdziale tym przedstawiono metodologię wyznaczania glebowej powierzchni testowej do badań stacjonarnych w ramach ZMŚP, jej opis, opróbowanie, zakres i stosowane metody analityczne do określania właściwości gleb w cyklu 10-letnim. Ponadto opisano metodę pobierania prób przez Stacje Bazowe do oznaczenia odczynu i przewodności elektrycznej właściwej w cyklu rocznym.

6.8.2. Zakres parametrów pomiarowych

Tabela 6.8.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego E1 – Gleby

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Odczyn (pH) zawiesiny w H_2O	PH_EW20	IM	pH w 20°C, 2	1/rok*
Przewodność zawiesiny w H_2O	COND_EW	ZM	$mS \cdot m^{-1}$, 1	
Odczyn (pH) zawiesiny w $CaCl_2$	PH_EC20	IM	pH w 20°C, 2	
Odczyn (pH) zawiesiny w H_2O	PH_EW20	IM	pH w 20°C, 2	1/10 lat
Odczyn (pH) zawiesiny w $CaCl_2$	PH_EC20	IM	pH w 20°C, 2	
Odczyn (pH) zawiesiny w KCl	PH_EK20	ZM	pH w 20°C, 2	

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Kwasowość wymienna	ACI_ET	IM	cmol(+)·kg^{-1}, 2	1/10 lat
Całkowita kwasowość wymienna	ACI_ETB	IM	cmol(+)·kg^{-1}, 2	
Kationowa pojemność wymienna efektywna	CEC_E	IM	cmol(+)·kg^{-1}, 2	
Kationowa pojemność wymienna potencjalna	CEC_P	IM	cmol(+)·kg^{-1}, 2	
Nasycenie kompleksu sorpcyjnego zasadami	BASA	DB	%, 0	
Glin wymienny Al^{+3}	AL_E	ZM	cmol(+)·kg^{-1}, 3	
Wapń wymienny Ca^{+2}	CA_E	ZM	cmol(+)·kg^{-1}, 2	
Magnez wymienny Mg^{+2}	MG_E	ZM	cmol(+)·kg^{-1}, 2	
Potas wymienny K^{+}	K_E	ZM	cmol(+)·kg^{-1}, 3	
Sód wymienna Na^{+}	NA_E	ZM	cmol(+)·kg^{-1}, 3	
Azot ogólny $N_{ogól.}$	NTOT	DB	mg·kg^{-1}, 0	
Całkowity węgiel organiczny $C_{org.}$	TOC	DB	g·kg^{-1}, 0	
Gęstość objętościowa	BDEN	IM	kg·m^{-3}, 0	
Amorficzne tlenki żelaza	FEOX_A	ZM	mg·kg^{-1}, 2	
Fosfor ogólny $P_{ogól.}$ w profilach glebowych	PTOT	DB	mg·kg^{-1}, 2	
Siarka ogólna $S_{ogól.}$ w profilach glebowych	STOT	DB	mg·kg^{-1}, 0	

* Program realizowany przez Stacje Bazowe.

Tabela 6.8.2. Parametry rozszerzone programu pomiarowego E1 – Gleby

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Wolne tlenki żelaza	FEOX_F	ZM	mg·kg^{-1}, 2	1/10 lat
Arsen As	AS	DB	mg·kg^{-1}, 1	
Kadm Cd	CD	DB	mg·kg^{-1}, 1	
Chrom Cr	CR	DB	mg·kg^{-1}, 1	
Miedź Cu	CU	DB	mg·kg^{-1}, 1	
Żelazo Fe	FE	DB	mg·kg^{-1}, 0	
Rtęć Hg	HG	DB	mg·kg^{-1}, 3	
Nikiel Ni	NI	DB	mg·kg^{-1}, 1	
Ołów Pb	PB	DB	mg·kg^{-1}, 0	
Cynk Zn	ZN	DB	mg·kg^{-1}, 0	
Mangan Mn	MN	DB	mg·kg^{-1}, 0	
Węglany w przeliczeniu na $CaCO_3$	CAR_C	ZM	%, 1	
Wietrzenie	WEA	IM	meq·m^{-2}·rok^{-1}	

6.8.3. Metodyka

Badania gleboznawcze w ramach ZMŚP prowadzone są na stacjonarnych powierzchniach testowych w dużej skali. Duże natężenie badań na niewielkiej powierzchni dostarcza nam podstawowych informacji w zakresie: fizycznego i chemicznego stanu gleby, zmienności w czasie (przy kolejnych opróbowaniach) i przestrzeni podstawowych właściwości gleb, wrażliwości gleby na antropopresję. Ponadto mogą one posłużyć do wielu zastosowań środowiskowych, takich jak: badania nad zakwaszeniem, eutrofizacją, ocena zasobów węgla, strumieni składników odżywczych, bilans wodny gleb, ocena różnorodności biologicznej i wpływu zmian klimatycznych. Prowadzenie badań w dużej skali, według określonej metodyki, pozwala nie tylko na porównanie stanu gleb w Polsce, ale również na odniesienie go do gleb w Europie. Intensywne badania gleb obejmują charakterystykę gleby, ocenę jej stanu (jakości) oraz badanie procesów i dynamiki w perspektywie długoterminowej.

Badania gleboznawcze na powierzchniach testowych powinny obejmować trzy główne elementy:

- charakterystykę pedologiczną gleb na podstawie opisu profili glebowych, która pozwoli na klasyfikację gleby zarówno według „Systematyki gleb Polski" (Marcinek, Komisarek 2011), jak i WRB (2015);
- monitoring jakości gleb, obejmujący regularne analizy gleb w określonych interwałach czasowych (co 10 lat);
- określenie krzywych wodnej retencyjności gleb, które są niezbędne do modelowania strumieni przepływu energii i obiegu materii w ekosystemach.

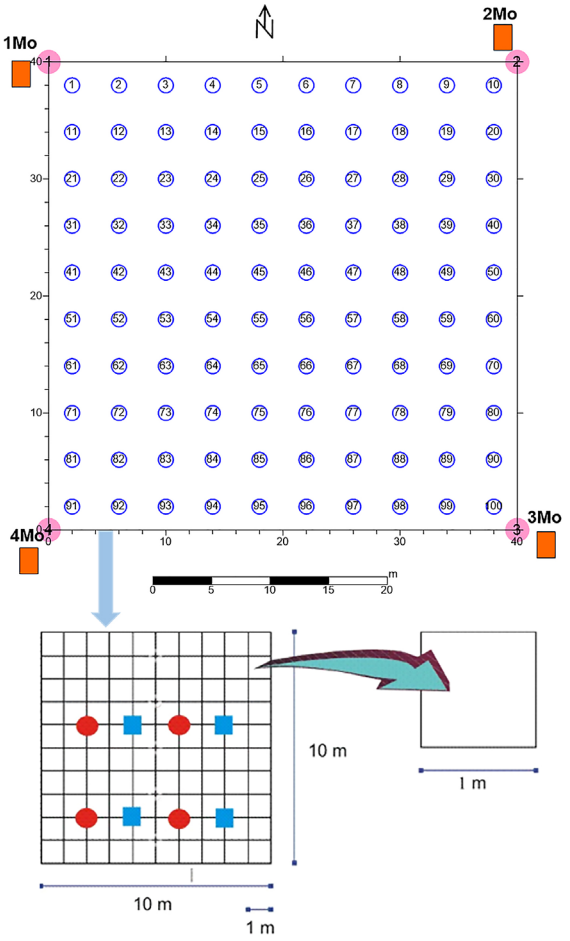
6.8.3.1. Kryteria wyboru (lokalizacji) powierzchni testowej

Wyboru glebowej powierzchni testowej do badań stacjonarnych należy dokonać na podstawie dobrej znajomości pokrywy glebowej, poprzedzonej badaniami kartograficzno-gleboznawczymi, pozwalającymi na określenie zmienności budowy morfologicznej i typologicznej gleb lub na podstawie dobrze wykonanych map glebowych w odpowiedniej skali i z odpowiednią dokładnością. Do tego celu nie nadają się zarówno mapy glebowo-rolnicze, których krytyczną ocenę przedstawili Marcinek i Komisarek (2006), jak i mapy glebowo-siedliskowe ze względu na skalę i stopień dokładności. Stacjonarna glebowa powierzchnia testowa powinna spełniać określone kryteria:

- musi ją budować jednorodna pokrywa glebowa tworząca konsocjacje ze zdecydowaną przewagą jednego polipedonu;
- położenie w terenie powierzchni testowej (równina, stok o różnym stopniu nachylenia, zaklęśnięcie terenowe itp.) musi w przybliżeniu gwarantować określoną jej gospodarkę wodną;
- dokumentacja gleboznawcza terenu otaczającego powierzchnię testową powinna dostarczać informacji o: budowie pedonu, jego zmienności; właściwościach fizyczno-wodnych, chemicznych, biologicznych; powiązaniu genetycznym i klasyfikacyjnym gleb powierzchni z pokrywą glebową regionu;

- jednorodny polipedon tworzący powierzchnię testową powinien zajmować obszar na tyle duży (np. 2–5 ha), ażeby można było taką powierzchnię powiększyć, przesunąć, zmienić jej położenie bez utraty ciągłości badań;
- wybrana powierzchnia powinna reprezentować specyfikę środowiska przyrodniczego danego regionu.

W celu wytypowania miejsca lokalizacji glebowej powierzchni testowej należy wykonać od 20 do 30 wierceń w obrębie solum, które pozwolą na określenie zmienności morfologicznej i typologicznej gleb. Sugeruje się, ażeby stacjonarna powierzchnia testowa miała kształt kwadratu o bokach długości 40 m, którą można podzielić na 16 poletek o wymiarach 10 × 10 m każde, a następnie każde z tych ostatnich poletek podzielić można na poletka o wymiarach 1 × 1 m. W ten sposób cała powierzchnia testowa podzielona zostanie na 1600 poletek o powierzchni 1 m^2, z której można pobrać 1600 prób (ryc. 6.8.1). Dopuszcza się wyznaczenie powierzchni w kształcie prostokąta, a liczba prób pobranych z powierzchni powinna być nie mniejsza niż 80.



Ryc. 6.8.1. Schemat opróbowania glebowej powierzchni testowej o wymiarach 40 × 40 m (kółkami zaznaczono miejsca poboru prób przy pierwszym opróbowaniu, kwadratami – miejsca poboru prób przy drugim opróbowaniu)

6.8.3.2. Opróbowanie powierzchni testowej

Pierwsze opróbowanie powierzchni testowej należy wykonać w siatce regularnej. Na powierzchni o wymiarach 40 × 40 m należy wyznaczyć 10 transektów. W każdym transekcie próby powinny być pobierane w odległości 4 m jedna od drugiej (ryc. 6.8.1). W ten sposób z powierzchni należy pobrać 100 prób. W przypadku innego kształtu powierzchni niż kwadrat transekty należy tak dobrać, ażeby z powierzchni testowej pobrać co najmniej 80 prób. Ze względu na dużą zmienność właściwości glebowych w obrębie przebadanych powierzchni testowych, drugie opróbowanie powierzchni należy przeprowadzić w sposób analogiczny, jak pierwsze, ale próby należy pobrać z transektów przesuniętych o 2 m. Po przeprowadzeniu analizy statystycznej i geostatystycznej uzyskanych wyników badań oraz analizy porównawczej wyników z pierwszego i drugiego opróbowania należy podjąć decyzję o sposobie opróbowania powierzchni w trakcie trzeciego etapu badań. Proponuje się zastosowanie metody systematycznego opróbowania lub metody losowej stratyfikowanej (Marcinek, Komisarek 2002).

Powierzchnie testowe powinny być opróbowywane w sierpniu co 10 lat. Dopuszcza się opróbowanie powierzchni w innych miesiącach, jednak powinien być to okres o małej aktywności biologicznej.

6.8.3.3. Technika pobierania prób z powierzchni testowej

Istnieje szereg metod poboru prób glebowych, w przypadku wyznaczenia siatki regularnej w każdym punkcie na powierzchni testowej pobierane są próby okołopunktowe złożone z 2–3 pojedynczych próbek z wierzchniego poziomu mineralnego. Jeśli na powierzchni testowej występują naturalne przeszkody, np. drzewa, punkt poboru próbki należy przesunąć o 1 m. Pojedyncze próbki pobierane są za pomocą świdra o średnicy 8 cm z głębokości 0–10 cm w odległości około 20 cm jedna od drugiej do pojemnika z polietylenu, a następnie próba złożona przesypywana jest do woreczka polietylenowego z metryczką; są to próby o strukturze naruszonej. Próbki mogą być pobierane innym narzędziem pozwalającym na uzyskanie monolitycznego wycinka gleby o miąższości 10 cm. Masa próbki złożonej powinna być na tyle duża, ażeby wykonać podstawowe, zaplanowane analizy. Zaleca się, ażeby wynosiła od 0,5 do 1 kg. Przed przystąpieniem do pobierania prób należy na powierzchni gleby rozścielać grubą folię (1 × 1 m), z otworami w środku. Folia ta, szczególnie w kompleksach leśnych, zabezpiecza powierzchnię gleby przed zanieczyszczeniem poziomu O lub A wydobytym materiałem glebowym. W trakcie poboru prób należy zachować zasady, które pozwolą na niezanieczyszczenie prób. Sprzęt po każdym pobraniu próby powinien być czyszczony, a osoba pobierająca powinna być zaopatrzona w rękawiczki jednorazowe.

W glebach bezszkieletowych w celu oznaczenia gęstości gleby suchej pobiera się próbki o strukturze nienaruszonej do cylindrów o objętości 100 cm^3 co najmniej w trzech powtórzeniach z arbitralnie przyjętych głębokości (0–10, 10–20 i 20–40 cm). W trakcie poboru prób należy zwrócić szczególną uwagę, ażeby jej nie zagęścić oraz nie naruszyć naturalnego układu agregatów glebowych. W próbkach tych można również oznaczyć wilgotność aktualną gleby, pod warunkiem dobrego zabezpieczenia prób przed utratą wody. Po przywiezieniu prób

do laboratorium należy je natychmiast zważyć, a następnie suszyć w temperaturze 105°C do stałej wagi, co pozwoli na obliczenie zarówno aktualnej wilgotności masowej, jak i gęstości gleby.

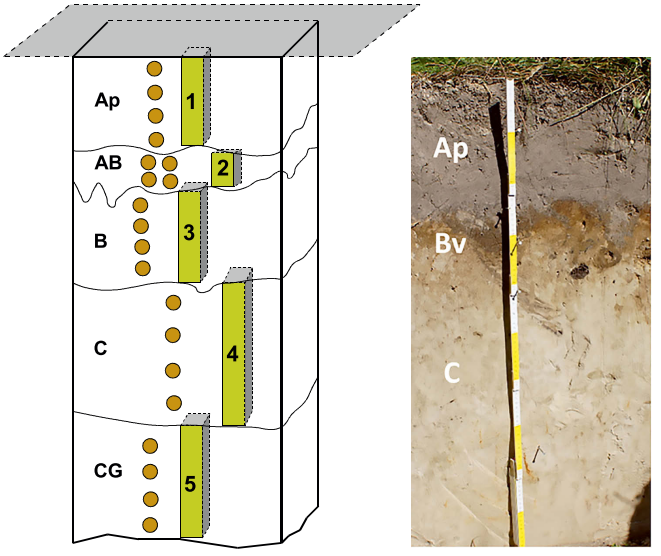
Próbki pobrane w terenie należy jak najszybciej przetransportować do laboratorium, a następnie rozłożyć na tackach polipropylenowych do wysuszenia do stanu powietrznie suchej gleby lub wysuszyć w suszarce w temperaturze nieprzekraczającej 40°C (ISO 11464, 1994). Przed suszeniem i przecieraniem prób gleby należy usunąć wszystkie „żywe" korzenie roślin o średnicy większej niż 2 mm.

6.8.3.4. Lokalizacja, opis i opróbowanie pedonów reprezentatywnych

W celu dokonania szczegółowego opisu i określenia typologicznej jednostki gleby dominującej w obrębie powierzchni testowej należy w strefie „buforowej" szerokości około 2 m wokół powierzchni testowej zlokalizować profile glebowe. Przy pierwszym opróbowaniu powierzchni wyznacza się 4 profile na każdym jej boku, natomiast przy następnych opróbowaniach od 2 do 3 profili.

Należy wyraźnie rozdzielić pobieranie próbek glebowych z profilu badanego (pedonu), próbek z wierzchniego poziomu gleb oraz próbek z wierzchnich warstw, których miąższość jest arbitralnie określona.

Po sporządzeniu pełnej dokumentacji profilu glebowego próbki z profilu pobierane są z każdego poziomu i podpoziomu, a także warstwy (ryc. 6.8.2). Próbki nie są pobierane punktowo, lecz monolitycznie, tzn. z każdego poziomu, podpoziomu lub warstwy wycinany jest monolit np. o powierzchni 5 × 5 cm lub 10 × 10 cm i miąższości odpowiadającej ściśle miąższości warstwy. W ten sposób masa próbki reprezentuje badany poziom, podpoziom, warstwę i są to próbki o strukturze naruszonej. Monolit wycięty z profilu należy włożyć w całości



Ryc. 6.8.2. Schemat opróbowania profilu glebowego (Marcinek, Komisarek 2002) (miejsca pobrania próbek zaznaczono kółkami)

do odpowiedniego woreczka polietylenowego. Równolegle pobiera się próbki o strukturze nienaruszonej (ryc. 6.8.2). Z każdego poziomu pobiera się próbki w co najmniej pięciu replikacjach. Próbki o nienaruszonej strukturze pobierane są do cylindrów o objętości 100 cm^3 lub 250 cm^3, które służą do oznaczenia gęstości objętościowej gleby suchej i wilgotności aktualnej danego poziomu i całego profilu. W ten sposób opróbowany profil stwarza możliwość pełnej interpretacji wyników badań. Po wykonaniu analiz laboratoryjnych możemy dokonać klasyfikacji gleb według różnych systemów klasyfikacyjnych, np.: systematyki gleb Polski (Marcinek, Komisarek 2011), WRB (2015).

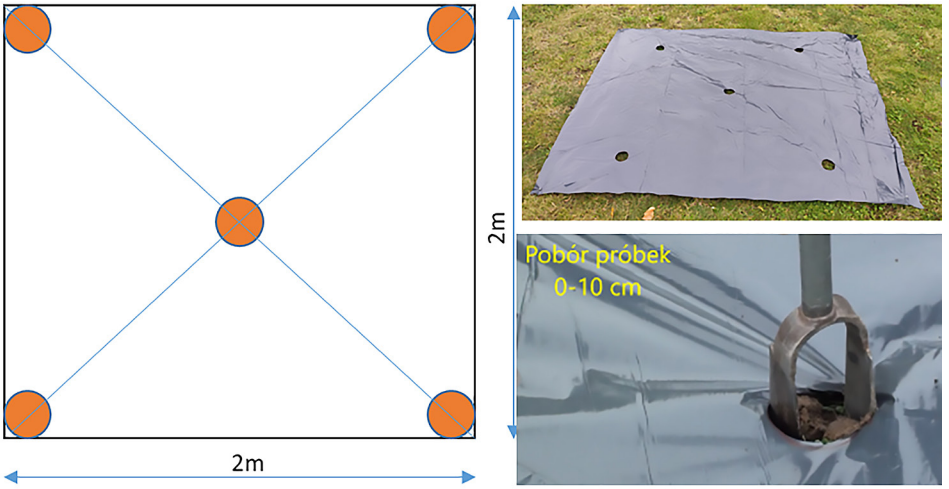
Pobrane próbki glebowe z profilu o wilgotności naturalnej powinno się przechowywać w ciemnym miejscu w temperaturze 4°C, a w przypadku gdy mają być suszone – należy je rozłożyć na tackach polietylenowych w ciemnym, suchym i ciepłym pomieszczeniu. Próby należy suszyć do stałej wagi. Próbki mogą być suszone w suszarce w temperaturze do 40°C. Po wysuszeniu próbki należy przetrzeć w moździerzu porcelanowym za pomocą drewnianego tłuczka. Przetarte próbki powinno się przesiać przez sito o średnicy oczek 2 mm. Zarówno masę próbki przesianą przez sito, jak i tę, która zatrzymała się na sicie należy zważyć i obliczyć procentową zawartość szkieletu. Próbki należy przechowywać w pojemnikach, które nie wchodzą w reakcję z glebą, w suchym i ciemnym pomieszczeniu. Próbki te następnie mogą być w różny sposób przygotowywane do analiz. Analizy podstawowych właściwości glebowych wykonywane są na próbkach przesianych przez sito o średnicy oczek 2 mm, czyli częściach ziemistych.

W podrozdziale 6.8.3.6 przedstawiono skrócony opis wybranych metod stosowanych od początku funkcjonowania ZMŚP (Kostrzewski i in. 1995, Marcinek 1995, Marcinek, Komisarek 2006), które zostały uzupełnione o zalecenia aktualnie stosowane w publikacji Manual (2016). W celu uchwycenia zmian średniookresowych zachodzących w środowisku glebowym i ekosystemie należy zachować ciągłość stosowanych metod, bowiem w przeciwnym wypadku trudno będzie przeprowadzić prawidłowe wnioskowanie dotyczące zmian zachodzących w środowisku glebowym i ich wpływu na ekosystemy.

6.8.3.5. Pobieranie prób do oznaczenia odczynu (pH) i przewodności elektrycznej właściwej (EC) gleb (program realizowany przez Stacje Bazowe)

Próby glebowe do oznaczenia odczynu i przewodności należy pobrać za pomocą świdra puszkowego o średnicy 8 cm z 5 miejsc z głębokości 0–10, 10–20, 20–40 i 40–80 cm, zgodnie ze schematem przedstawionym na rycinie 6.8.3, z glebowej powierzchni testowej, na której prowadzone są kartowania co 10 lat. Próby pobierane są wiosną (kwiecień) do woreczków polietylenowych.

Przed przystąpieniem do oznaczenia odczynu i EC próbki gleby należy odpowiednio przygotować, zgodnie z procedurą opisaną w podrozdziale 6.8.3.3. Odczyn należy oznaczyć w wodzie i $CaCl_2$. Oznaczenia odczynu i przewodności elektrycznej właściwej dla każdej próby i głębokości należy wykonać w dwóch powtórzeniach, co pozwoli na zastosowanie podstawowych statystyk opisowych. Pomiary pH wykonujemy według PN-ISO 10390, a EC według PN-ISO 11265+AC 1 (patrz podrozdz. 6.8.3.6).



Ryc. 6.8.3. Schemat pobierania prób glebowych do oznaczania odczynu i przewodności elektrolitycznej właściwej

6.8.3.6. Opis podstawowych metod analitycznych

Program podstawowy

Skład granulometryczny

Skład granulometryczny oznaczany jest według normy PN-R-04032, natomiast podziału na grupy granulometryczne dokonuje się na podstawie klasyfikacji PTG 2008 oraz podziału USDA-FAO.

Węgiel organiczny całkowity

Materię organiczną spala się w temperaturze 900°C, stosując różne automatyczne metody mierzenia ilości wydzielającego się CO_2 (Manual 2016). Wyniki należy w razie potrzeby skorygować, odejmując węgiel pochodzący z węglanów. Węgiel organiczny można oznaczać metodą Walkleya-Blacka.

Azot ogólny

Oznaczenie azotu ogólnego wykonuje się po spaleniu próbki w temperaturze 900°C z zastosowaniem analizatora detekcji w podczerwieni lub metodą Kjeldahla z zastosowaniem ditlenku tytanu jako katalizatora (Manual 2016).

Odczyn (pH) gleby mierzony w trzech roztworach: H_2O, KCl, $CaCl_2$

Odczyn (pH) mierzy się potencjometrycznie w zawiesinie. Próbki gleb mineralnych zalewa się cieczą ekstrakcyjną w stosunku 1:5 (objętość:objętość), natomiast organicznych – 1:20 (v:v), zarówno w przypadku wody destylowanej, jak i 0,01M $CaCl_2$ oraz 1M KCl (alternatywa 0,1M $BaCl_2$). Możliwe jest także przyjęcie proporcji objętościowych 1:5 zarówno dla gleb mineralnych, jak i organicz-

nych. Próbki wytrząsa się przez 2 godz., a pomiar należy wykonać po chwili potrzebnej na osadzenie się grubszej zawiesiny (piasku i grubego pyłu).

Kationy wymienne (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, H^+ oraz Al^{3+})

Kationy wymienne (Na, K, Ca, Mg oraz Al): 2 g gleby wytrząsa się z 20 cm^3 0,1M $BaCl_2$ przez 2 godz. Roztwór do analizy uzyskuje się przez odwirowanie. Oznaczenia wykonać należy metodą spektroskopii absorpcji atomowej (AAS).

Kwasowość wymienna

Do oznaczenia kwasowości wymiennej (H+Al) należy odważyć 25 g gleby mineralnej lub 10 g torfu (materiału organicznego) zalać 100 cm^3 1M KCl i wytrząsać przez 2 godz. Następnie 50 cm^3 odfiltrowanego roztworu miareczkuje się 0,02M NaOH w obecności fenoloftaleiny do osiągnięcia różowego zabarwienia (pH = 8,2).

Całkowita kwasowość wymienna

Próbkę uzyskuje się poprzez ekstrakcję roztworem buforowym (0,25M $BaCl_2$ + 0,2M trietanolaminy). 10 g gleby mineralnej lub 2 g materiału organicznego wytrząsa się z 100 cm^3 roztworu buforowego przez godzinę. Zawiesinę przesącza się przez sączek, przemywając osad 100 cm^3 roztworem 0,25M $BaCl_2$ zmieszanym z roztworem buforowym w stosunku 1:2500. Przesącz miareczkowany jest 0,2M HCl w obecności zieleni bromokrezolowej i mieszanego wskaźnika do osiągnięcia zielonego zabarwienia. Miareczkowanie wykonuje się również na próbie zerowej.

Efektywna kationowa pojemność wymienna

Efektywną kationową pojemność wymienną uzyskuje się po zsumowaniu kationów wymiennych:

$$CEC\_E = (Ca + Mg + Na + K) + ACI\_ET \ [cmol_{(+)}/kg].$$

Stopień wysycenia gleb kationami zasadowymi

Oblicza się go na podstawie poniższej formuły:

$$\text{Nasycenie zasadami (BASA)} = \frac{Ca + Mg + K + Na}{Ca + Mg + K + Na + ACI\_ET} 100\%$$

gdzie: Ca, Mg, K, Na – kationy zasadowe, ACI_ET – kwasowość wymienna, wyrażone w $cmol_{(+)}/kg$.

Siarka ogólna

Siarkę ekstrahuje się, podgrzewając próbkę gleby z dodatkiem niewielkiej ilości stężonego HNO_3 + $HClO_4$ (4:1), następnie rozcieńcza do objętości: waga:objętość = 1:4 dla gleb mineralnych i 1:10 dla gleb organicznych i przesącza. **Uwaga! Mieszanina HNO_3 i $HClO_4$ jest wybuchowa – należy zachować szczególną ostrożność.** Można stosować metodę zastępczą. Oznaczenie wykonuje się metodą turbidymetryczną lub wagową.

Fosfor ogólny

Fosfor ekstrahuje się, podgrzewając próbkę gleby z dodatkiem niewielkiej ilości stężonego HNO_3+$HClO_4$ (4:1), następnie rozcieńcza do objętości: waga:objętość = 1:4 dla gleb mineralnych i 1:10 dla gleb organicznych i przesącza. **Uwaga! Mieszanina HNO_3 i $HClO_4$ jest wybuchowa – należy zachować szczególną ostrożność.** Można stosować metodę zastępczą, np. z wodą królewską (Manual 2016). Oznaczenie wykonuje się metodą kolorymetryczną.

Amorficzne tlenki żelaza

Zawartość amorficznych tlenów żelaza oznacza się metodą ASA po ekstrakcji gleby roztworem szczawianu amonu i kwasu szczawiowego (McKeague, Day 1967).

Przewodność elektryczna właściwa

Przewodność elektryczną właściwą (EC_1, 25°C, $mS \cdot m^{-1}$) oznacza się konduktometrycznie, przy stosunku gleba:roztwór 1:5.

Gęstość gleby suchej

Gęstość gleby suchej jest definiowana jako stosunek masy gleby suchej (wysuszonej w temperaturze 105°C do stałej wagi) do jej objętości i wyrażonej w $kg \cdot m^{-3}$. W glebach bezszkieletowych (zawierających <5% szkieletu) należy pobierać próby w 5 powtórzeniach do cylinderków o objętości 100 cm^3. W glebach szkieletowych należy zastosować inną metodę, np. wykopać otwór, wyłożyć elastyczną membraną i wypełnić określoną objętością wody.

Program rozszerzony

Program rozszerzony obejmuje oznaczenie zawartości metali ciężkich oraz węglanów:

Metale ciężkie

Do oznaczenia całkowitej zawartości metali ciężkich (Pb, Cd, Zn, Al, Fe, Cr, Ni, S, Hg) stosuje się mineralizację przy użyciu wody królewskiej (3:1, HCl: HNO_3). Zawartość metali oznacza się metodą AAS lub ICP (Manual 2016).

Metale ciężkie można oznaczać w roztworze po ekstrakcji gleby mieszaniną HNO_3 i $HClO_4$. **Mieszania ta jest wybuchowa – należy zachować szczególną ostrożność** (Manual 2016).

Węglany w przeliczeniu na $CaCO_3$

Węglany oznacza się metodą objętościową na podstawie wydzielonego ditlenku węgla po rozkładzie węglanów kwasem chlorowodorowym (HCl) (tzw. metodą Schaiblera).

6.8.4. Raportowanie danych do bazy danych

Raportowanie danych do Centralnej Bazy Danych ZMŚP powinno odbywać się zgodnie z aktualnymi wytycznymi. Przykładowy arkusz danych dla programu obligatoryjnego zaprezentowano w tabelach 6.8.3 i 6.8.4.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- Jeżeli dla danego miejsca poboru próbki (subpowierzchni, poziomu glebowego) nie wykonano pomiaru określonego parametru, w arkuszu należy umieścić taki wiersz z pustą komórką dla kolumny wartość i flagą M2 w kolumnie jakość danych.
- W kolumnie INFO dla profili glebowych umieszczamy kod poziomu glebowego (z kodem profilu glebowego), który dostępny będzie w przekazanych danych. Kod poziomu glebowego musi być poprzedzony dużą literą P oraz myślnikiem (–). Podajemy cały kod poziomu glebowego.
- W kolumnie poziom umieszczamy głębokość (w cm) dolnej granicy zasięgu próbki mierzoną od poziomu rozdzielającego ściółkę od gleby mineralnej. Na przykład „poziom" dla 8 cm próbki ściółki wynosi –8 (minus osiem), dla próbki gleby mineralnej z przedziału 0–5 cm – 5 (liczba dodatnia), dla próbki z przedziału 5–20 cm – 20 (liczba dodatnia).
- W przypadku poziomu glebowego, dla którego nie oznaczono spągu, umieszczamy pustą komórkę w kolumnie poziom.

Tabela 6.8.3. Zapis danych w bazie danych, program E1 – Gleby, powierzchna testowa 40 × 40 m. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
E1	XXZM	KG	005	PW4	ZM	10	2017-08-05	1	ACI_ET	IM	1,70			E17	DB	TI	DB	cmol(+)/kg	93
E1	XXZM	KG	005	PW4	ZM	10	2017-08-05	1	AL_E	ZM	1,44			E17	DB	TI	DB	cmol(+)/kg	99
E1	XXZM	KG	005	PW4	ZM	10	2017-08-05	1	AL_E	ZM	1,14			E17	DB	TI	DB	cmol(+)/kg	100
E1	XXZM	KG	005	PW4	ZM	10	2017-08-05	1	BASA	DB	12,5							%	94
E1	XXZM	KG	005	PW4	ZM	10	2017-08-05	1	BDEN	IM		M2						kg/m3	99
E1	XXZM	KG	005	PW4	ZM	10	2017-08-05	1	PH_EK20	ZM	3,51			E17	DB	EL	DB	[–]	78
E1	XXZM	KG	005	PW4	ZM	10	2017-08-05	1	ACI_ET	IM	2,37			E17	DB	TI	DB	cmol(+)/kg	6

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium, podtyp lub typ gleby, pole obligatoryjne (Programy/Media [kategoria – gleby]), F (LM) – kod listy medium, pole obligatoryjne, G (POZ) – określa głębokość (w cm, wartość dodatnia) dolnej granicy zasięgu próbki mierzoną od poziomu rozdzielającego ściółkę od gleby mineralnej, pole obligatoryjne, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-DD, pole obligatoryjne, I (SK) – oznacza ilość próbek, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole opcjonalne (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole opcjonalne (Opisy/Metody przygotowania próby), P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, obligatoryjne, jeżeli podano metodę wstępnego przygotowania, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole opcjonalne (Opisy/Metody pomiarowe) (Instytucje/Laboratoria), R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole obligatoryjne, jeżeli podano kod metody analitycznej, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, numer subpowierzchni (1–100), pole obligatoryjne.

Tabela 6.8.4. Zapis danych w bazie danych, program E1 – Gleby, profile glebowe. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
E1	XXZM	KG	005	PW4	ZM	15	1998-08–10	4	PH_EW20	IM	4,32			E25	DB	EL	DB	[–]	P-PB3_A
E1	XXZM	KG	005	PW4	ZM	43	1998-08–10	4	PH_EW20	IM	4,5			E25	DB	EL	DB	[–]	P-PB3_Bw
E1	XXZM	KG	031	OH	ZM	–5	2015-06-07	3	BDEN	IM		M2						kg/m3	P-6NW_O
E1	XXZM	KG	031	BI1	ZM	6	2015-06-07	4	BDEN	IM	1110							kg/m3	P-6NW_A
E1	XXZM	KG	031	BI1	ZM	13	2015-06-07	4	BDEN	IM	1215							kg/m3	P-6NW_Es
E1	XXZM	KG	031	BI1	ZM	23	2015-06-07	4	BDEN	IM	1117							kg/m3	P-6NW_Bs
E1	XXZM	KG	031	BI1	ZM		2015-06-07	4	BDEN	IM		M2						kg/m3	P-6NW_C

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium, podtyp lub typ gleby, pole obligatoryjne (Programy/Media [kategoria – gleby]), F (LM) – kod listy medium, pole obligatoryjne, G (POZ) – określa głębokość (w cm, wartość dodatnia) dolnej granicy zasięgu próbki mierzoną od poziomu rozdzielającego ściółkę od gleby mineralne, w przypadku ściółki jest to miąższość (wartość ujemna), pole opcjonalne, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-DD, pole obligatoryjne, I (SK) – oznacza ilość pojedynczych próbek, z których składała się próba zbiorcza, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole opcjonalne (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole opcjonalne (Opisy/Metody przygotowania próby), P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, obligatoryjne, jeżeli podano metodę wstępnego przygotowania, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole opcjonalne (Opisy/Metody pomiarowe) (Instytucje/Laboratoria), R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole obligatoryjne, jeżeli podano kod metody analitycznej, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, numer profilu glebowego, pole obligatoryjne.

Literatura

Kostrzewski A., Kruszyk R., Kolander R. (red.), 2006. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań (http://zmsp.gios.gov.pl/?page_id=69).

Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A., 1995. Zasady organizacji i system pomiarowy Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Manual, 1993. Manual for Integrated Monitoring. Programme Phase 1993–1996. Environment Data Centre, National Board of Waters and the Environment, Helsinki: 47–51.

Manual, 2016. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part X. Sampling and analysis of soil. Version 5/2015. ICP Forests. Forest Soil Co-ordinating Centre and the Expert Panel on Soil and Soil Solution. (Nathalie Cools and Bruno De Vos).

Marcinek J., 1995. Badania gleboznawcze w programie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. W: A. Kostrzewski (red.), ZMŚP – zasady organizacji i system pomiarowy, metody badań. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 197–211.

Marcinek J., Komisarek J., 2002. Metodyczne problemy stacjonarnych badań gleboznawczych nad zmianami w czasie i przestrzeni chemicznych i fizykochemicznych właściwości gleb. Rocz. AR Pozn., 342, Melior. Inż. Środ., 23: 299–310.

Marcinek J., Komisarek J., 2006. Program pomiarowy E1: Gleby. W: A. Kostrzewski, R. Kruszyk, R. Kolander (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań (http://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/wyt2006/09_program_E1.pdf).

Marcinek J., Komisarek J. (red.), 2011. Systematyka gleb Polski. Wyd. 5. Roczn. Glebozn., 62, 3.

McKeague J.A., Day D.H., 1966. Dithionite- and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. Canadian Journal of Soil Science, 46: 13–22 (http://dx.doi.org/10.4141/cjss66-003).

WRB. World Reference Base for soil resources, 2015. FAO.

6.9. Program F1 – Chemizm roztworów glebowych

Jolanta Komisarek, Jerzy Marcinek, Katarzyna Wiatrowska

Katedra Gleboznawstwa i Rekultywacji, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

6.9.1. Wprowadzenie, cel badań

Obieg materii i energii w ekosystemach w umiarkowanej szerokości geograficznej prowadzi m.in. do przepływu wód opadowych przez glebę do wód gruntowych. Wody opadowe, docierając do powierzchni gleby w trakcie infiltracji, wcho-

dzą w reakcję ze ściółką (jeśli występuje) oraz kolejnymi poziomami glebowymi. W trakcie infiltracji i perkolacji najczęściej kwaśnych lub bardzo kwaśnych wód opadowych następują procesy rozpuszczania, eluwiacji, transformacji zarówno związków organicznych, jak i mineralnych oraz ich przemieszczanie w głąb profilu glebowego. Procesy wietrzenia chemicznego i fizycznego prowadzą do uwalniania mikro- i makroelementów, które następnie mogą zostać włączone do obiegu biologicznego lub być wymyte w głąb, do wód gruntowych i dalej do rzek i jezior. Program pomiarów chemizmu roztworów glebowych jest bardzo istotny dla poznania powiązań procesów geohydrochemicznych z ich biologicznymi i mikrobiologicznymi oddziaływaniami, w tym procesów ryzosferycznych. Stały, zharmonizowany monitoring roztworu glebowego zapewnia bezpośredni wgląd w relacje między stanem lasu a środowiskowymi czynnikami stresowymi, w szczególności zanieczyszczeniem powietrza (np. zakwaszeniem i eutrofizacją osadów) oraz krótkoterminowymi zdarzeniami klimatycznymi, a także ułatwia przewidywanie przyszłych trendów stanu gleby. Ponadto skład roztworu glebowego wraz z oszacowaniem przepływów wody glebowej można wykorzystać do obliczenia przepływów pierwiastków przez glebę i odpływu związków z gleby do wód gruntowych (Marcinek, Komisarek 1990, 2006, Kostrzewski i in. 1995, 2006).

Zharmonizowane pobieranie i analiza roztworu glebowego prowadzone są w celu:

- określenia i monitorowania długoterminowych trendów w chemii roztworu glebowego w odpowiedzi na naturalne i antropogeniczne czynniki stresowe (np. zakwaszanie, depozycję zanieczyszczeń, zmiany klimatyczne);
- podjęcia próby określenia bilansu pierwiastków (dopływu i odpływu) w ekosystemach leśnych w odniesieniu do praktyki związanej z depozycją substancji i gospodarką leśną;
- kwantyfikacji czasowej i przestrzennej zmienności parametrów roztworu glebowego w głównych jednostkach typologicznych gleb dominujących w obrębie Stacji Bazowych ZMŚP, pozwalającej na poprawę adekwatności i dokładności oceny roztworu glebowego oraz na zrozumienie jego dynamiki i występowania wzorców przestrzennych.

Trzeci cel można osiągnąć tylko przy ograniczonym wyborze powierzchni do intensywnego monitoringu, które wyposażone są w odpowiednią liczbę lizymetrów. Wyznaczone do tego celu poletka z odpowiednią liczbą lizymetrów zainstalowanych na określonych głębokościach powinny umożliwiać oszacowanie średnich wartości stężenia pierwiastków w glebach, zmienność i poziom dokładności, które wymagane są do statystycznej weryfikacji różnic między poletkami oraz określenia zmienności w czasie (ICP Manual 2016).

6.9.2. Zakres parametrów pomiarowych

Parametry składu chemicznego roztworów glebowych obligatoryjne, jak również z programu rozszerzonego zestawiono w tabelach 6.9.1 i 6.9.2.

Tabela 6.9.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego F1 – Chemizm roztworów glebowych

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Przewodność elektryczna właściwa	COND	DB	$mS \cdot m^{-1}$, 1	1/miesiąc
Odczyn (pH)	PH	DB	[–], 2	
Zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	ALK	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Siarka siarczanowa $S\text{-}SO_4$	SO4S	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Azot azotanowy $N\text{-}NO_3$	NO3N	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Azot amonowy $N\text{-}NH_4$	NH4N	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Chlorki Cl	CL	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Wapń Ca	CA	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Magnez Mg	MG	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Sód Na	NA	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Potas K	K	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	

Tabela 6.9.2. Parametry rozszerzone programu pomiarowego F1 – Chemizm roztworów glebowych

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Aktualna wilgotność gleby	ASM	ZM	% objętościowe, 1	1/miesiąc
Przesiąkanie wody glebowej	FLOW	DB	$dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$, 2	
Rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Krzemionka SiO_2	SIO2	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Żelazo Fe	FE	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Mangan Mn	MN	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Kadm Cd	CD	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Miedź Cu	CU	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Ołów Pb	PB	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Cynk Zn	ZN	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Nikiel Ni	NI	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Arsen As	AS	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Chrom Cr	CR	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	
Glin Al	AL	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	

6.9.3. Metodyka

6.9.3.1. Techniki pobierania prób

Roztwór glebowy można pobierać 1) metodami nieniszczącymi lub 2) częściowo „niszczącymi" naturalny układ gleby. Nieniszczące metody polegają na instalacji próbników podciśnieniowych (lizymetry podciśnieniowe) pobierania roztworu glebowego. Zakłócenie gleby/terenu związane z instalacją tego typu lizymetru jest zwykle stosunkowo minimalne i krótkotrwałe. Pobieranie próbek, w trakcie którego do instalacji lizymetrów wymagane jest częściowe zakłócenie naturalnego układu poziomów glebowych, dotyczy głównie lizymetrów grawitacyjnych, których instalacja może spowodować poważne, długotrwałe zmiany w hydrologii gleby i napowietrzenie punktu poboru próbek.

6.9.3.2. Lokalizacja lizymetrów

Lizymetry powinny być zlokalizowane na poletkach badawczych w pobliżu punktów pomiarowych opadu podkoronowego i spływu po pniach drzew. Podstawową zasadą jest usytuowanie poletek do badania opadu w lesie i lizymetrów w obrębie tego samego obszaru (ekosystemu, zbiorowiska roślinnego). Lizymetry powinny być rozlokowane losowo lub systematycznie na całej powierzchni pomiarowej. Punkty opadu podkoronowego i spływającego po pniach drzew oraz lizymetry powinny być zlokalizowane poza strefą buforową glebowej powierzchni testowej.

Lizymetry do poboru próbek roztworów glebowych powinny być instalowane na stałych głębokościach. Punktem odniesienia do określenia głębokości jest środek (punkt środkowy) aktywnej strefy próbkowania kolektora roztworu glebowego, niezależnie od jego typu. Lizymetry podciśnieniowe należy zainstalować na trzech głębokościach: 1) w środku warstwy gleby mineralnej 0–20 cm (wartość 0 cm należy wyznaczyć pomiędzy dolną częścią poziomu ściółki (O), a stropową częścią gleby mineralnej – poziomem A, E lub B), w celu pobrania próbki przechodzącego roztworu glebowego przez warstwę organiczną, 2) w strefie drobnych korzeni roślin, w środkowej części warstwy gleby na głębokości 20–40 cm, aby móc monitorować stężenie składników odżywczych i toksycznych pierwiastków w pobliżu drobnych korzeni roślin, i 3) poniżej strefy korzeni – w środkowej części warstwy pomiędzy 40 a 80 cm, aby móc monitorować składniki odpływające z profilu glebowego.

Lizymetry grawitacyjne należy instalować bezpośrednio pod poziomem organicznym na głębokości 0 cm, następnie na głębokości od 20 do 40 cm oraz na głębokości 40 do 80 cm. W celu pobrania próbek ze wszystkich odpowiednich poziomów pedogenetycznych można opcjonalnie pobierać próbki roztworu glebowego poniżej 80 cm.

Na każdej głębokości należy zainstalować minimum trzy lizymetry. Zaleca się również, aby były zainstalowane dwa dodatkowe lizymetry w celu zapewnienia poboru co najmniej 3 próbek przy każdym pobieraniu roztworów. Należy zauważyć, że pobieranie i analiza roztworów glebowych w 3 powtórzeniach dostarczy nam jedynie informacji na temat tendencji zmian w chemizmie roztworów glebowych poletka, a nie w pełni reprezentatywne oszacowanie chemizmu roztworów

glebowych terenu. Optymalnie roztwory glebowe powinny być pobierane w co najmniej 10 powtórzeniach, tzn. z 10 lizymetrów na każdej głębokości, co pozwoliłoby na uzyskanie średniej poletka, która znajduje się w granicach ±20% średniej populacji, przy poziomie ufności wynoszącym 95% (ICP Manual 2016).

Analizy składu chemicznego roztworu glebowego powinno się wykonać w miarę możliwości oddzielnie dla próbek pobranych z każdego lizymetru. Pozwoli to na określenie zmienności przestrzennej. Zaleca się unikać łączenia pojedynczych próbek w próbę zbiorczą, chyba że nie można uzyskać wystarczającej objętości roztworu do wykonania analiz obligatoryjnych. W przypadku łączenia prób z tej samej głębokości należy mieć świadomość, że duża zmienność przestrzenna chemizmu pomiędzy zainstalowanymi lizymetrami może generować wartości odstające. Częściowo problem ten można wyeliminować poprzez badania pilotażowe, w których na krótki okres instaluje się i opróbowuje od 15 do 25 lizymetrów w każdym poziomie glebowym. Umożliwi to zweryfikowanie reprezentatywności wyników uzyskiwanych z niewielkiej liczby (3–6) stałych lizymetrów w odniesieniu do powierzchni poletka. **Nie dopuszcza się łączenia prób roztworów z różnych głębokości.**

6.9.3.3. Instalacja próbników poboru roztworów glebowych

Próbniki podciśnieniowe

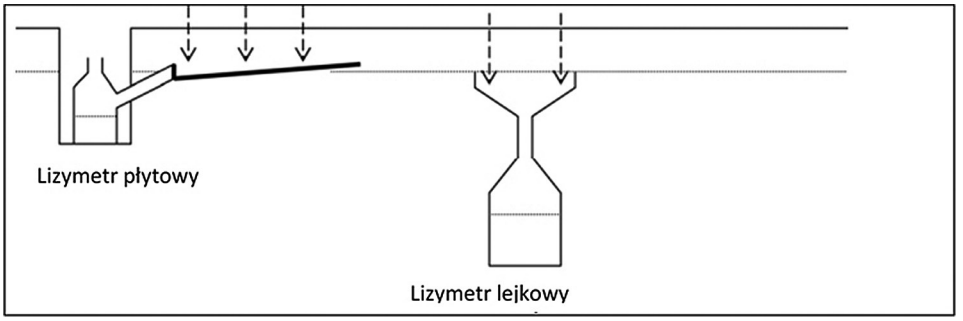
Podczas instalacji lizymetrów należy zachować ostrożność, aby zminimalizować zakłócenia w budowie profilu gleby. W celu zamontowania próbnika wierci się otwór za pomocą świdra o średnicy nieco większej aniżeli próbnik. Otwór można wykonać pionowo lub pod kątem (np. 45°) do powierzchni gleby lub poziomo – prostopadle do ściany odkrywki glebowej. Instalowanie lizymetru pod kątem ma tę zaletę, że warstwa gleby powyżej lizymetru nie jest naruszona. W trakcie instalacji próbnika należy unikać zanieczyszczenia otworu materiałem z górnych poziomów, zwłaszcza jeśli gleba jest bardzo luźna. Pozioma instalacja próbnika w profilu zminimalizuje ten problem.

Zaleca się montaż lizymetrów bez dodatku półpłynnej mieszaniny wody i gleby. Tylko w przypadku, kiedy nie uzyska się dobrego kontaktu hydraulicznego pomiędzy kubkiem a glebą (np. w glebach kamienistych lub piaszczystych), można wykorzystać materiał pobrany ze świdra z dna otworu, upłynnić go, dodając wody destylowanej, i w otworze z zawiesiną umieścić próbnik. Jeśli materiał z odwiertu nie jest wystarczająco drobnoziarnisty, hydrauliczny kontakt można poprawić przez przesianie przez sito gleby, pobranej na odpowiedniej głębokości z odkrywki poza poletkiem, i dodanie jej w postaci zawiesiny do odwiertu, w którym umieszcza się próbnik. W wolną przestrzeń między ścianami otworu a rurą próbnika wsypać wybraną poprzednio i przesianą glebą, ubijając ją starannie. Powierzchnia gleby nad lizymetrem i w jego bezpośrednim otoczeniu nie może być zasłonięta czymkolwiek, co wpływałoby na normalny proces przesiąkania wody. Jeśli lizymetry są instalowane pionowo, należy je zabezpieczyć przed przemieszczaniem się wód opadowych po ściankach rurki. Naczynia zbiorcze do roztworu glebowego powinny być umieszczone pod powierzchnią gleby i zabezpieczone

zarówno przed nagrzewaniem, jak i zamarzaniem. Próbniki podciśnieniowe na okres zimy powinny być zdemontowane w celu uniknięcia ich uszkodzenia przez niskie temperatury.

Lizymetry grawitacyjne

Do pobierania prób roztworu glebowego można stosować lizymetry płytowe lub lejkowe (ryc. 6.9.1). W celu zainstalowania płytowych lizymetrów grawitacyjnych należy wykopać odkrywkę i zainstalować lizymetr w ścianie. W trakcie instalacji należy do minimum ograniczyć naruszenie gleby. W celu instalacji lizymetru pod poziomem ściółki należy wyciąć z trzech stron powierzchnię zbliżoną do powierzchni lizymetru, delikatnie unosząc ściółkę, należy wsunąć lizymetr na miejsce. Płyta lizymetru powinna być nachylona w kierunku naczynia zbiorczego. Naczynie zbiorcze umieszcza się poniżej lizymetru, zabezpieczając je przed dopływem światła i zmianami temperatury.



Ryc. 6.9.1. Przykłady różnych rodzajów lizymetrów grawitacyjnych (ICP Manual 2016)

Grawitacyjne lizymetry lejkowe instaluje się po uprzednim usunięciu nienaruszonego rdzenia gleby o średnicy nieco większej od średnicy lejka. Po wsunięciu lejka do otworu umieszcza się w nim uprzednio usunięty rdzeń z glebą, a roztwór glebowy grawitacyjnie spływa do znajdującego się poniżej naczynia zbiorczego.

Jednym z problemów związanych z lizymetrami grawitacyjnymi jest to, że na skutek częściowego naruszenia układu gleby w trakcie instalacji korzenie prowadzące do wyższych poziomów zostają przerwane, przecięte. Oznacza to, że skład chemiczny roztworu glebowego zostanie zmieniony, dopóki korzenie nie wrócą do rdzenia gleby. Na przykład po instalacji glebowej często dochodzi do wypłukiwania rozpuszczalnej materii organicznej i makroskładników pokarmowych z powodu zaprzestania pobierania ich przez korzenie i wzrostu mineralizacji materii organicznej.

Frakcje wody glebowej możliwe do pozyskania za pomocą różnych lizymetrów i metod przedstawiono w załączniku 6.9.1.

6.9.3.4. Pobieranie prób roztworów glebowych

Zaleca się rejestrować objętość próbki roztworu glebowego pobranego w terenie z każdego lizymetru za pomocą cylindrów miarowych lub przenośnej wagi.

Częstość poboru próbek roztworów glebowych

W idealnych warunkach próbki roztworów glebowych powinny być pobierane co dwa tygodnie (a nawet, o ile to możliwe, co tydzień), aby zminimalizować artefakty pojawiające się w roztworach na skutek aktywności drobnoustrojów w naczyniach zbiorczych. Jeżeli nie jest możliwe tak częste pobieranie roztworów, dozwolone jest łączenie próbek, które reprezentują okres do jednego miesiąca. Jednak jeden miesiąc lub cztery tygodnie to maksymalny okres, w którym można łączyć próbki, nawet jeśli są one niewystarczającej objętości.

W warunkach Polski w ramach ZMŚP realne wydaje się pobieranie roztworów glebowych jedynie w okresach: jesiennym (od września do listopada) i wiosennym (od kwietnia do maja). W okresie letnim, ze względu na niedostateczną ilość opadów i niewielkie zdolności retencyjne gleb, uzyskanie próbek roztworów glebowych jest nieefektywne, nawet przy zastosowaniu próbników podciśnieniowych. Pobierając próbki wiosną i jesienią, należy zwrócić szczególną uwagę na czystość naczyń zbiorczych po dłuższych okresach przerwy w poborze roztworów.

Zabezpieczenie próbek

Naczynia zbiorcze połączone z lizymetrami powinny być zabezpieczone przed zmianami temperatury i dopływem światła. Po pobraniu próby roztworów glebowych należy przetransportować w niskiej temperaturze do laboratorium. W laboratorium próby należy przechowywać w lodówce lub zimnym pomieszczeniu w temperaturze około +4°C.

6.9.3.5. Oznaczenia składu roztworów glebowych

W przypadku gdy uzyskana objętość próbki nie jest wystarczająca do określenia wszystkich obowiązkowych parametrów wymienionych w tabelach 6.9.1 i 6.9.2, potrzebny jest priorytetowy ranking analiz parametrów (np. pH, EC, azotany, $P_{całk.}$, NH_4^+, siarczany, Ca, Mg, K, Na, chlorki).

Do oceny składu chemicznego roztworów glebowych należy stosować znormalizowane metody i procedury analityczne, najlepiej metody ISO lub EN/CEN (załącznik 6.9.2). Zalecane metody do analizy roztworów glebowych i ekstraktów glebowych zestawiono w tabeli 6.9.3.

Tabela 6.9.3. Zalecane metody oznaczania roztworów glebowych (ICP Manual 2016)

Parametr	Metoda/ instrumenty	Dodatkowe wymagane przygotowanie próbek	Komentarze
pH	Metoda potencjometryczna		Oznaczane w laboratorium (dopuszcza się możliwość oznaczania w terenie po spełnieniu wymogów kompensacji temperatury. Nie zaleca się wykonywania pomiarów pH w terenie < 4°C). Wymagane są dwa roztwory kalibracyjne.

Parametr	Metoda/ instrumenty	Dodatkowe wymagane przygotowanie próbek	Komentarze
Przewodność elektryczna właściwa	Metoda konduktometryczna (25°C)		Pomiar wykonany w terenie jest informacją wspierającą do oceny zanieczyszczenia próbki.
Zasadowość całkowita	Metoda alkacymetryczna (2-punktowa metoda miareczkowania do pH 4,5 z korektą)		Obowiązkowe dla próbek o pH > 5. Metoda z jednym punktem miareczkowania bez korekty jest niedopuszczalna.
Siarczany	Chromatografia jonowa (IC) Spektrofotometria, np. metoda Thorina lub błękitu metylo-tymolowego Potencjometria		Zalecaną metodą jest ICP. Zastosowanie metody ICP do analizy próbek roztworów glebowych wymaga wprowadzenia korekty na obecność siarki organicznej w glebach z wysokim stężeniem RWO (DOC). Zaś metody spektrometryczne dla próbek zabarwionych nie powinny być wykorzystywane bez korekty.
Azotany	Chromatografia jonowa (IC) Spektrofotometria, np. barwnik azowy po redukcji do azotyn (CFA)		Zalecaną metodą jest ICP. Metody spektrometryczne nie powinny być wykorzystywane w przypadku próbek zabarwionych bez korekty lub dializy.
Chlorki	Chromatografia jonowa (IC) Potencjometria (CFA, FIA) Spektrofotometria, np. metoda Hg-tiocyjanianu (CFA)		Zalecaną metodą jest ICP
Fosfor całkowity ($P_{całk.}$)	Spektrofotometria, metoda błękitu molibdenowego ICP-AES, OES		Chromatografia jonowa nie jest zalecaną metodą ze względu na wysoką granicę oznaczalności. Spektrofotometria: $P_{całk.}$ jest określony jako PO_4 po trawieniu z silnym utleniaczem.

Parametr	Metoda/ instrumenty	Dodatkowe wymagane przygotowanie próbek	Komentarze
Kation amonu (NH_4^+)	Spektrofotometria, np. metoda indofenolowa (CFA) komora dyfuzyjna amoniaku metoda (FIA) Chromatografia jonowa (IC)		W metodzie IC wysokie stężenia Na mogą silnie wpływać na wynik analizy, w metodzie FIA wymagana jest wstępna filtracja i dializa próbki. Przy automatyzowanej metodzie FIA ten etap jest już włączony.
Na, K, Mg, Ca	AAS płomieniowa AES płomieniowa (tylko dla Na i K) Chromatografia jonowa (IC) ICP-AES, OES		Uwaga: możliwe jest uzyskanie różnych wyników w zależności od zastosowanej metody – IC oznaczane są tylko formy jonowe.
Al, Mn i pierwiastki śladowe (np. Cu, Cd, Pb, Zn)	AAS kuwetą grafitową ICP/MS ICP/OES/AES ICP/OES/AES z nebulizatorem ultrasonicznym	Próbki wymagają utrwalenia z kwasem azotowym (V). Konieczne może się okazać wstępne zagęszczanie próbki	Wymagane są instrumenty z niską granicą oznaczalności ze względu na niskie stężenia. Wymagana kontrola blanka i unikanie etapów mogących wpłynąć na zanieczyszczenie próbki.
$Al_{mobilny}$	AAS kuwetą grafitową ICP/MS ICP/OES/AES ICP/OES z nebulizatorem ultrasonicznym	Stężenie ruchliwego Al można określić wieloma metodami (Wickstrøm i in. 2000). Najprostsza metoda polega na usunięciu tej frakcji przez kolumnę. Różnica w pomiarach pomiędzy próbkami przed przejściem przez kolumnę i po jest równa stężeniu Al mobilnego	Przy wysokim stężeniu Al mobilnego pracochłonność prac laboratoryjnych może znacznie wzrosnąć, szczególnie przy dużej ilości próbek. W takich przypadkach zaleca się podzielenie prac na dwa etapy: 1) natychmiastowe frakcjonowanie $Al_{całk.}$ przy użyciu kolumny kationowymiennej, 2) zachowanie dwóch próbek roztworu (przed frakcjonowaniem i po), zakonserwowanych 65-procentowym HNO_3 (czda) i późniejsze oznaczenie zawartości Al po 2–3 tygodniach po rozfrakcjonowaniu (Derome i in. 1998).

Parametr	Metoda/ instrumenty	Dodatkowe wymagane przygotowanie próbek	Komentarze
Azot ogólny ($N_{ogól.}$)	Analiza elementarna Spektrofotometria, po utlenianiu do azotanów za pomocą nadsiarczanu w roztworze buforowy boranu lub utlenianiem UV Analizator N całkowitego z detektorem chemiluminescencji		
Azot organiczny	Oznaczenie $N_{ogól.}$, azotanów i jonów amonowych		N organiczny = $N_{ogól.}$ – (NO_3-N + NH_4-N + NO_2-N) (jeśli występują).
Rozpuszczalny węgiel organiczny (RWO) ang. DOC	Spektroskopia w podczerwieni po mineralizacji do CO_2, jonizacji w płomieniu po redukcji do CH_4. Absorbancja UV (254 nm)	Wymagane użycie membrany z włókna szklanego (nie z celulozy octan/azotan)	Metoda z wykorzystaniem absorbancji w UV nie jest metodą zalecaną i powinna być używana tylko przez laboratoria bez analizatora TOC.

W celu zachowania ciągłości pomiarów dopuszcza się metody stosowane dotychczas do oznaczania składu chemicznego roztworów glebowych. Przegląd norm metod analitycznych EN/ISO dla wybranych parametrów oznaczanych w próbkach wody, gleby, roślinnych oraz ekstraktach i roztworach trawiących (ICP Manual 2016) zamieszczono w załączniku 6.9.2.

Przed filtracją roztworów glebowych należy pobrać oddzielną podpróbkę w celu określenia pH i przewodności elektrycznej właściwej (zgodnie z ISO 10523 i ISO 7888). Odbywa się to jednak tylko wtedy, gdy objętość próbki jest wystarczająca do innych analiz chemicznych. Podpróbka ta nie powinna być używana do żadnej z innych analiz. Wiele rodzajów elektrod pH uwalnia K^+ do roztworu, a zatem jest wydzielona, aby uniknąć kontaminacji. Jeśli przewodność elektryczna właściwa jest mierzona na tej samej porcji próbki, należy ją oznaczyć przed pomiarem pH. Pozostałą próbę należy przefiltrować przez sączek membranowy (0,45 μm) w celu usunięcia wszelkich ciał stałych i ustabilizowania jej do dalszych analiz. Filtracja znacznie zmniejsza możliwość zmian wywołanych przez mikroorganizmy (np. przemiany azotu), bowiem w trakcie filtracji usuwa się wszystkie mikroorganizmy (z wyjątkiem wirusów). Zatem stabilność i żywotność próbek po filtracji znacznie wzrasta. Nie należy używać bibuły filtracyjnej ze względu

na możliwość zanieczyszczenia NH_4 i węglem. Wiele typów membran uwalnia niewielkie ilości cząstek stałych, np. zawierających węgiel, co może wpłynąć na określenie DOC. Jednak tego problemu można uniknąć, stosując „przemywanie" membrany znaną objętością wody destylowanej przed właściwą filtracją próbki. Każde laboratorium powinno określić wymaganą minimalną ilość wody do przemycia membran, choć z testów wynika, że około 50 ml powinno być wystarczającą objętością.

Po przefiltrowaniu należy pobrać podpróbki do oznaczania metali np. AAS lub techniki ICP, jeśli realizowany jest program rozszerzony. Podpróbki te należy zakwaszać, np. 65-procentowym HNO_3 cz.d.a. do pH < 2 w celu uniknięcia wytrącania się kationów metali na wewnętrznej powierzchni plastikowych butelek (jeśli są używane), jak również uniknięcia możliwych zmian spowodowanych aktywnością drobnoustrojów. Zakonserwowane próbki można przechowywać kilka tygodni przed analizą AAS, ICP itp. Pozostałą część próbki należy przechowywać w temperaturze około +4°C i jak najszybciej wykonać niezbędne analizy obligatoryjne. Próbek nie należy zamrażać. Zastosowanie konserwantów w laboratorium (chloroform, formaldehyd, związki rtęci, jod itp.) nie jest zalecane ze względu na zagrożenie dla zdrowia w miejscu pracy, niebezpieczeństwo uszkodzenia sprzętu laboratoryjnego (np. kolumny do chromatografii jonowej) i możliwe zakłócenia w niektórych oznaczeniach.

6.9.3.6. Badania uzupełniające

Co najmniej raz w roku na powierzchni testowej, na której prowadzony jest monitoring roztworów glebowych, należy wykonać pomiar parametrów fizykochemicznych gleby. Próbki gleby należy pobrać z głębokości, na których prowadzony jest pobór roztworów glebowych oraz w poziomie próchnicznym. Profile glebowe lub odwierty (ze wskazaniem na odwierty) powinny być zlokalizowane w pobliżu stanowisk poboru roztworów glebowych. Jednak w takiej odległości od lizymetrów, która uniemożliwi uszkodzenie próbników lub zakłócenie ich funkcjonowania. Nie należy łączyć prób glebowych z poszczególnych stanowisk pomiarowych i głębokości. Każdą próbkę trzeba analizować indywidualnie. Parametry, jakie należy przeanalizować, to: pH w wodzie, pH w KCl, pH w $CaCl_2$, kwasowość wymienna, glin wymienny. Metody, które zaleca się zastosować do analizy gleby, zamieszczono w rozdziale 6.8. Uzyskane wyniki należy umieścić w bazie danych zgodnie z procedurami.

6.9.4. Opracowanie danych

Należy zachować szczególną ostrożność podczas interpretowania wyników analiz roztworów glebowych z lizymetrów bezpośrednio po instalacji, bowiem mogą one być zakłócone na skutek zachodzących, w początkowym okresie, reakcji chemicznych z porowatym kubkiem lub naruszoną glebą w czasie montażu próbników. Dlatego próbki roztworów z pierwszych 2 lub 3 pobrań po instalacji lizymetrów powinny być odrzucone. W przypadku lizymetrów lejkowych okres odrodzenia się korzeni roślin wynosi jeden sezon wegetacyjny. Jednak w przypadku monito-

rowania długookresowych zmian w składzie chemicznym roztworów glebowych nie stanowi to większego problemu.

Ponieważ na skład chemiczny roztworów glebowych może mieć wpływ wiele parametrów (depozycja sucha i mokra, typ i rodzaj gleby, skład gatunkowy i wiek drzewostanów, sposób gospodarowania zasobami itp.), serie danych z poszczególnych poletek pomiarowych (lokalizacji) należy interpretować oddzielnie, uwzględniając lokalne warunki przyrodniczo-geograficzne.

W celu ustalenia bilansu składników mineralnych w obrębie poletek niezbędne jest określenie strumienia wody przepływającej przez glebę. Ponieważ trudno za każdym razem zmierzyć strumień wody przepływającej przez glebę, należy obliczyć go, wykorzystując do tego celu określone modele (np. SWAP).

6.9.5. Raportowanie danych do bazy danych

Raportowanie danych do Centralnej Bazy Danych ZMŚP powinno odbywać się zgodnie z aktualnymi wytycznymi. Przykładowy arkusz danych dla programu obligatoryjnego zaprezentowano w tabeli 6.9.4.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- Wszystkie oznaczenia przekazywane do bazy powinny zostać wykonane w próbce zbieranej w ten sam sposób (czas ekspozycji próbników). Jeżeli dotychczas wykonywano oznaczenia wybranych parametrów po okresie krótszym od okresu pomiarowego, np. po tygodniu, i podawano jako średnie miesięczne, w celu zachowania ciągłości serii nadal należy raportować te dane do bazy danych.
- W danych przekazywanych do bazy danych podajemy formę pierwiastkową: $S\text{-}SO_4$, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$.
- Jeżeli pH próbki jest równe lub mniejsze od 4,50, dla zasadowości (ALK) podajemy wartość 0 mg/l.
- Jeżeli skład chemiczny próbek jest oznaczany po miesięcznej ekspozycji, kolumna typ danych pozostaje pusta. W przypadku oznaczeń wykonywanych częściej niż raz w miesiącu i przekazywanych do bazy jako średnie w kolumnie typ danych umieszczamy kod X (średnia arytmetyczna) lub W (średnia ważona) w sytuacji, kiedy oznaczany jest przepływ roztworów glebowych.
- Jeżeli przyczyną niewykonania części oznaczeń analitycznych jest niewystarczająca objętość próbki, w kolumnie jakość danych dla tych parametrów umieszczamy kod M3 (brak danych – za mała objętość próbki).
- Jeżeli przyczyną niewykonania oznaczeń wszystkich parametrów jest brak roztworów glebowych, w kolumnie jakość danych umieszczamy kod M1 (brak danych – brak zjawiska, przyczyny naturalne).

Tabela 6.9.4. Zapis danych w bazie danych, program F1 – Chemizm roztworów glebowych. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
F1	XXZM	SM	005	PW3	ZM	60	2018–10-00	1	ALK	DB	69,6			F1	DB	TIZ	ZM	mg/l	
F1	XXZM	SM	005	PW3	ZM	60	2018-03-00	1	CL	DB	2,49			F1	DB	IC	DB	mg/l	
F1	XXZM	SM	005	PW3	ZM	60	2018-03-00	1	COND	DB	15,7					CNA	DB	mS/m	
F1	XXZM	IG	202	BW4	ZM	50	2015–10-00	3	NH4N	DB		M1		F3	DB	IC	DB	mg/l	
F1	XXZM	SM	005	PW3	ZM	30	2018-01-00	1	ALK	DB		M1		F1	DB	TIZ	ZM	mg/l	
F1	XXZM	SM	005	PW3	ZM	60	2018-01-00	1	ALK	DB		M1		F1	DB	TIZ	ZM	mg/l	
F1	XXZM	SM	005	PW3	ZM	60	2018-03-00	1	MG	DB	0,48			F1	DB	IC	DB	mg/l	
F1	XXZM	SM	005	PW3	ZM	60	2018–10-00	1	NO3N	DB	2,78			F1	DB	IC	DB	mg/l	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium – typ lub podtyp gleby, pole obligatoryjne (Programy/Media [kategoria – gleba]), F (LM) – kod listy medium, pole obligatoryjne, G (POZ) – głębokość w cm umieszczenia porowatej końcówki próbnika (wartość dodatnia), pole obligatoryjne, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-00, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru – liczba próbników, z których pobierane są próbki z jednego poziomu glebowego, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole opcjonalne (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole opcjonalne (Opisy/Metody przygotowania próby), P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, pole obligatoryjne, jeżeli podano metodę wstępnego przygotowania, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole obligatoryjne (Opisy/Metody pomiarowe) (Instytucje/Laboratoria), R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole obligatoryjne, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole niewykorzystywane w tym programie.

Literatura

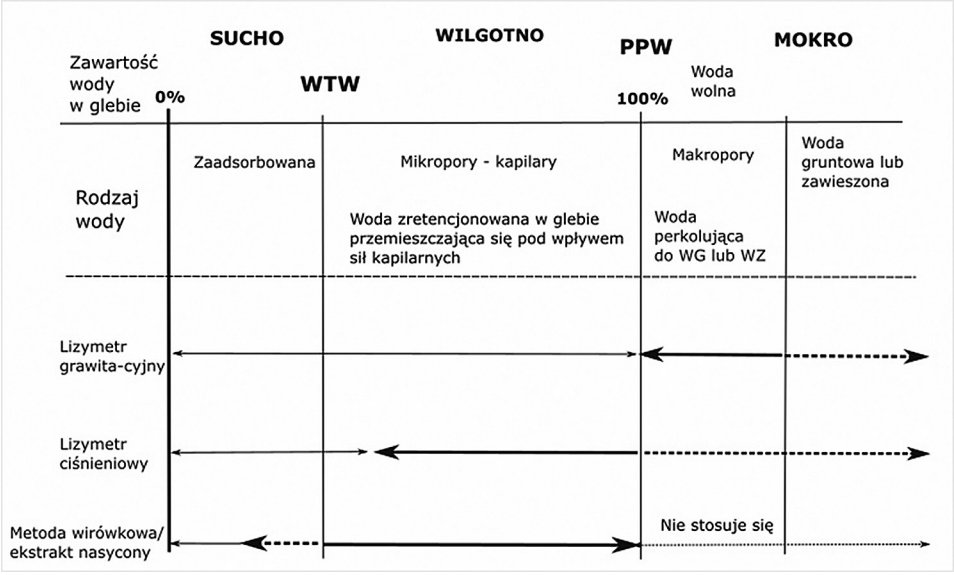
Kostrzewski A., Kruszyk R., Kolander R. (red.), 2006. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań (http://zmsp.gios.gov.pl/?page_id=69).

Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A., 1995. Zasady organizacji i system pomiarowy Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska.

Marcinek J., Komisarek J., 2006. Program pomiarowy F1: Chemizm roztworów glebowych. W: A. Kostrzewski, R. Kruszyk, R. Kolander (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań (https://zmsp.gios.gov.pl/wp-content/uploads/2013/wyt2006/09_program_F1.pdf).

ICP Manual, 2016. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Part X. Sampling and analysis of soil. Version 5/2015. ICP Forests. Forest Soil Co-ordinating Centre and the Expert Panel on Soil and Soil Solution. (Nathalie Cools and Bruno De Vos).

Marcinek J., Komisarek J., 1990. Pojemność wymienna kationów i czas migracji składników rozpuszczalnych w wodzie od powierzchni gleby do zwierciadła wód gruntowych. Prace Komisji Nauk Rol. i Kom. Nauk Leoenych PTPN, 69: 71–86.



Załącznik 6.9.1. Frakcje wody glebowej pozyskiwane przez lizymetry ciśnieniowe, grawitacyjne oraz metodę wirówkową (linie pogrubione, ICP Manual 2016)
PPW – polowa pojemność wodna, WTW – wilgotność trwałego więdnięcia

Załącznik 6.9.2. Przegląd norm metod analitycznych EN/ISO dla wybranych parametrów oznaczanych w próbkach wody (W), gleby (S), roślinnych (P) oraz ekstraktach soli (E) i roztworach trawiących (DS) (ICP Manual 2016)

Parametr, pierwiastek, jon	Rodzaj próbki	Metoda	Norma, metoda standardowa
Zasadowość		Metoda alkacymetryczna	ISO 9963-1 PN-EN ISO 9963-1:2001 PN-EN ISO 9963-1:2001/Ap1
			ISO 9963-2 PN-EN ISO 9963-2:2001
Al	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	AAS – płomień	
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 1885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
As	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	Indukcyjnie sprzężona plazma atomowej spektroskopii emisyjnej (ICP-AES)	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
	W, E, DS	AAS – z generacją wodorków	EN ISO 11969 PN-EN ISO 11969:1999
	W, E, DS	AAS – z kuwetą grafitową	EN ISO 15586 PN-EN ISO 15586:2005
Ba	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	Indukcyjnie sprzężona plazma atomowej spektroskopii emisyjnej	EN ISO 11885 PN-EN ISO 11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
B	W, E, DS	Indukcyjnie sprzężona plazma atomowej spektroskopii emisyjnej	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
Cd	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	AAS – z kuwetą grafitową	EN ISO 5961 EN ISO 15586 PN-EN ISO 15586:2005

Parametr, pierwiastek, jon	Rodzaj próbki	Metoda	Norma, metoda standardowa
Cd	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
Ca	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	AAS – płomień	EN ISO 7980 PN-EN ISO 7980:2002
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
$Cl_{całk.}$	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
Cl-Cl-	W	Chromatografia jonowa	EN ISO 10304-1, 2 u.-4 PN-EN ISO 10304-1:2009 PN-EN ISO 10304-1:2009/AC
	W	Analiza przepływowa, potencjometria	EN ISO 15682 PN-EN ISO 15682:2004
Cr	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	AAS – z kuwetą grafitową	EN 1233 EN ISO 15586 PN-EN ISO 15586:2005
	W, E, DS	AAS – płomień	DIN ISO 11047 PN-ISO 11047:2001
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
Co	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	AAS – z kuwetą grafitową	EN ISO 15586 PN-EN ISO 15586:2005
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
	W, E, DS	AAS – płomień	DIN ISO 11047 PN-ISO 11047:2001

Parametr, pierwiastek, jon	Rodzaj próbki	Metoda	Norma, metoda standardowa
Fe	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
K	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	AAS – płomień	ISO 9964-2 ISO 9964-3 PN-ISO 9964-3/Ak:1997
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Chromatografia jonowa	EN ISO 14911 PN-EN ISO 14911:2002
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
$C_{całk.}$	S, P	Analiza elementarna	ISO 10694 PN-ISO 10694:2002
	W, E	Analiza elementarna	EN 1484 ISO 8245 PN-EN 1484:1999
$C\text{-}C_{org.}$	S, P	Analiza elementarna	ISO 10694 PN-ISO 10694:2002
C-RWO	W, E	Analiza elementarna	EN 1484 ISO 8245 PN-EN 1484:1999
$C\text{-}CO_3$	S, P	Analiza elementarna	ISO 10694 PN-ISO 10694:2002
	S, P	Analiza objętościowa	ISO 10693 PN-EN ISO 10693:2014-06
	W, E	Analiza elementarna	EN 1484 ISO 8245 PN-EN 1484:1999
Cu	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	AAS – z kuwetą grafitową	EN ISO 15586 PN-EN ISO 15586:2005
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
	W, E, DS	AAS – płomień	DIN ISO 11047 PN-ISO 11047:2001

Parametr, pierwiastek, jon	Rodzaj próbki	Metoda	Norma, metoda standardowa
Mg	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	AAS – płomień	EN ISO 7980 PN-EN ISO 7980:2002
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
Mn	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
	W, E, DS	AAS – płomień	DIN ISO 11047 PN-ISO 11047:2001
Mo	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
	W, E, DS	AAS – z kuweta grafitową	EN ISO 15586 PN-EN ISO 15586:2005
Na	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	AAS – płomień	ISO 9964-1 + 3 PN-ISO 9964-1/Ak:1997
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
	W	Chromatografia jonowa	EN ISO 14911 PN-EN ISO 14911:2002

Parametr, pierwiastek, jon	Rodzaj próbki	Metoda	Norma, metoda standardowa
Ni	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	AAS – z kuweta grafitową	EN ISO 15586 PN-EN ISO 15586:2005
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
	W, E, DS	AAS – płomień	DIN ISO 11047 PN-ISO 11047:2001
$P_{całk.}$	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E	Fotometria	EN ISO 15681-1 u. 2 PN-EN ISO 15681-2:2019-02
	W, E	Fotometria przepływowa	EN ISO 6878 PN-EN ISO 6878:2005
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
$P\text{-}PO_4$	W	Chromatografia jonowa	EN ISO 10304-1 u. 2 PN-EN ISO 10304-1:2009 PN-EN ISO 10304-1:2009/AC
	W, E	Fotometria	EN ISO 15681-1 u. 2 PN-EN ISO 15681-2:2019-02
	W, E	Fotometria przepływowa	EN ISO 6878 PN-EN ISO 6878:2005
Pb	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	AAS – z kuwetą grafitową	EN ISO 15586 PN-EN ISO 15586:2005
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
	DS	AAS – płomień+kuweta grafitowa	ISO 11047 PN-ISO 11047:2001

Parametr, pierwiastek, jon	Rodzaj próbki	Metoda	Norma, metoda standardowa
Hg	W, DS	AAS – z generacją wodorków	EN 1483 ISO 16772 PN-ISO16772:2009
	W, E, DS	Spektrometria fluorescencji atomowej	EN 13506 PN-EN 13506:2004
	W	Spektrometria fluorescencji atomowej	EN ISO 17852 PN-EN ISO 17852:2009
$S_{całk.}$	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	S, P	Analiza elementarna	ISO 15178 PN-ISO15178:2004
$S\text{-}SO_4$	W	Chromatografia jonowa	DIN EN ISO 10304-1 + 2 PN-EN ISO 10304-1:2009 PN-EN ISO 10304-1:2009/AC
	W	Indukcyjnie sprzężona plazma atomowej spektroskopii emisyjnej	EN ISO 11885 (only with correction of S org. PN-EN ISO 11885:2009
$Si_{całk.}$	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	ICP-AES	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
$Si\text{-}SiO_4$	W	Fotometria	EN ISO 16264 PN-EN ISO 16264:2006
$N_{całk.}$	P, S	Analiza elementarna	ISO 13878 PN-ISO13878:2002
	W, E, DS	Chemiluminescencja	EN 12260 ISO 11905-2
	W, E, DS	Fotometria	ISO 14255 PN-ISO 14255:2001 ISO 11905-1
$N\text{-}NH_4$	W	Chromatografia jonowa	EN ISO 1491
	W	Fotometria	EN ISO 11732 ISO 7150-1 + 2 PN-EN ISO 11732:2007

Parametr, pierwiastek, jon	Rodzaj próbki	Metoda	Norma, metoda standardowa
$N\text{-}NO_3$	W	Chromatografia jonowa	EN ISO 10304-1 + 2 PN-EN ISO 10304-1:2009 PN-EN ISO 10304-1:2009/ AC
	W	Fotometria	EN ISO 13395 PN-EN ISO 13395:2001
	W, E	Fotometria	ISO 14255 PN-ISO 14255:2001
Zn	S	Spektrometria bliskiej podczerwieni	EN 15309 PN-EN 15309:2010
	W, E, DS	Indukcyjnie sprzężona plazma atomowej spektroskopii emisyjnej	EN ISO 11885 PN-EN ISO11885:2009
	W, E, DS	Spektrometria mas sprzężona z plazmą wzbudzaną indukcyjnie	EN ISO 17294-2 PN-EN ISO 17294-2:2016-11
	W, E, DS	AAS – z kuwetą grafitową	ISO 11047 PN-ISO 11047:2001
pH	W, E	Potencjometria	ISO 10523 ISO 10390 PN-ISO10390:2005
Przewodność elektryczna właściwa	W	Konduktometria	PN-ISO 11265+AC 1 EN 27888 ISO 11265

6.10. Program F2 – Wody podziemne

Marek Marciniak

Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

6.10.1. Wprowadzenie, cel pomiarów

Wody podziemne są jedną z dróg transportu materii w geoekosystemie i wynoszenia jej poza geoekosystem. Płytkie wody podziemne o zwierciadle swobodnym zasilają roślinność w składniki biogeniczne. Celem monitoringu jest uzyskanie informacji o stanie wód, ich dynamice, zasobach, chemizmie oraz wpływie na powiązane z nimi ekosystemy. Cele te mogą być różnicowane dla poszczególnych zlewni badawczych.

6.10.2. Zakres parametrów pomiarowych

Zakres monitoringu wód podziemnych jest uzależniony od celu badań oraz stopnia rozpoznania budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych zlewni oraz czynników naturalnych i antropogenicznych kształtujących obieg wody. Zakres ten obejmuje pomiary: poziomu zwierciadła wody w otworach badawczych i wydajności źródeł oraz oznaczenie parametrów fizykochemicznych próbek wody. Program F2 Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego obejmuje wody podziemne występujące w strefie saturacji. W tabelach 6.10.1 i 6.10.2 przedstawiono parametry pomiarowe w ramach programu podstawowego i rozszerzonego.

Tabela 6.10.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego F2 – Wody podziemne

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Poziom wód gruntowych lub wydajność źródła	WL SPRING_D	DB ZM	cm p.p.t., 0 $dm^3 \cdot s^{-1}$	pomiar automatyczny lub 1/ miesiąc*
Temperatura wody	TEMP	DB	°C, 1	1/2 miesiące
Odczyn (pH)	PH	DB	pH, 2	
Przewodność elektrolityczna właściwa	COND	DB	$mS \cdot m^{-1}$, 1	
Zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	ALK	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Wapń Ca	CA	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Magnez Mg	MG	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Sód Na	NA	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	1/2 miesiące
Potas K	K	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Siarka siarczanowa $S\text{-}SO_4$	SO4S	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Azot azotanowy $N\text{-}NO_3$	NO3N	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Azot amonowy $N\text{-}NH_4$	NH4N	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Chlorki Cl	CL	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	

*) zastosowanie diverów do obserwacji położenia zwierciadła wód podziemnych otwiera nowe możliwości w zakresie częstotliwości rejestrowania pomiarów (w programach specjalnych związanych z monitorowaniem poboru wody przez systemy korzeniowe może to być nawet 1/godz.)

Tabela 6.10.2. Parametry rozszerzone programu pomiarowego F2 – Wody podziemne

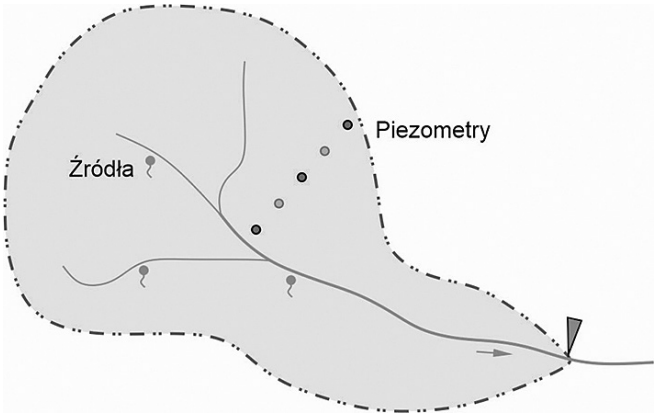
Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	1/2 miesiące
Krzemionka SiO_2	SIO2	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Mangan Mn	MN	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Żelazo Fe	FE	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Kadm Cd	CD	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Miedź Cu	CU	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Ołów Pb	PB	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Cynk Zn	ZN	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Nikiel Ni	NI	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Arsen As	AS	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Chrom Cr	CR	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Glin Al	AL	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Tlen rozpuszczony	O2	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
BZT_5	BZT5	ZM	$mgO_2 \cdot dm^{-3}$, 1	

6.10.3. Metodyka

6.10.3.1. Wymagania stanowisk pomiarowych

Punkty pomiarowe monitoringu wód podziemnych lokalizuje się w sposób zależny od ich liczby. Jeśli w monitorowanej zlewni dostępny jest jeden punkt, zalecane jest, by był on położony w strefie drenażu wód podziemnych w pobliżu rzeki (ryc. 6.10.1), co pozwoli kontrolować ilość materii wynoszonej ze zlewni. Pożą-

dane jest, aby liczba punktów pomiarowych wynosiła co najmniej 3. Lokalizacja tych punktów pomiarowych powinna obejmować strefy: zasilania (wododział), tranzytu (stok) i drenażu wód podziemnych (dolina rzeki lub strumienia).



Ryc. 6.10.1. Lokalizacja punktów pomiarowych monitoringu wód podziemnych w zlewni

Punkty pomiarowe (piezometry) powinny być usytuowane w transekcie zgodnym z kierunkiem filtracji wód podziemnych (ryc. 6.10.1). W wyborze lokalizacji poszczególnych punktów pomiarowych należy uwzględniać: obserwacje warunków zasilania infiltracyjnego, reakcje na naturalne i wymuszone wahania poziomu wody w rzece, rozpoznanie kierunku filtracji, warunki dostarczania wody i substancji rozpuszczonej ekosystemom oraz zmiany chemizmu wody pod wpływem rozkładu substancji organicznej lub stosowania nawozów. Pomiary powinny być prowadzone równocześnie we wszystkich punktach pomiarowych, w jednoznacznie ustalonych terminach, skorelowanych z badaniami innych komponentów środowiska przyrodniczego mających wpływ lub będących pod presją wód podziemnych.

Otwór badawczy (piezometr) monitoringu wód podziemnych powinien spełniać następujące warunki:

- rozpoznane zostało położenie względem struktur hydrogeologicznych oraz obszarów z ustalonym sposobem użytkowania terenu;
- posiada aktualną dokumentację geologiczną, opis konstrukcji i wyposażenia otworu;
- filtr obejmuje selektywnie wytypowaną do monitoringu warstwę wodonośną;
- jest zlokalizowany na terenie o unormowanej własności;
- jest usytuowany poza zasięgiem oddziaływań lokalnych (poboru lub zrzutu wody);
- wyznaczone zostały współrzędne geograficzne (za pomocą GPS) oraz rzędna punktu pomiarowego (kryzy);
- piezometr jest sprawny technicznie – ma drożny filtr i szczelną obudowę;
- umożliwia pomiar położenia zwierciadła wód podziemnych w całym zakresie jego zmienności;

- jest zabezpieczony przed ingerencją osób niepowołanych (posiada skuteczne zamknięcie);
- raz na 5 lat ma przeprowadzony test sprawności;
- obudowa piezometru (filtr i rura nadfiltrowa) została wykonana z materiałów chemicznie obojętnych, niezmieniających składu chemicznego próbki wody.

Monitoring wód podziemnych dotyczy także źródeł, w których obserwowana jest wydajność źródła. W przypadku źródła o skoncentrowanym wypływie konieczne jest wykonanie obudowy umożliwiającej pomiar wydajności w różnych warunkach pogodowych (niska temperatura, pokrywa śniegowa). Obudowa źródła musi zapewniać:

- izolowanie strefy wypływu wód podziemnych od wody spływającej po powierzchni lub w spływie podpowierzchniowym;
- niezakłócanie naturalnego wypływu poprzez zachowanie naturalnego poziomu wody;
- zabezpieczenie przed przedostawaniem się zanieczyszczeń oraz przed dostępem osób niepowołanych;
- pomiar wydajności źródła.

Podobne warunki musi spełniać przelew pomiarowy, który powinien ujmować całość wód wypływających ze źródła lub strefy źródliskowej. Przelew nie może zakłócać naturalnego wypływu wód podziemnych, dlatego powinien zachowywać naturalny poziom wody. Osłona przelewu powinna chronić układ pomiarowy przed przedostawaniem się wód spływających po zboczu w czasie trwania opadów albo roztopów.

6.10.3.2. Zasady pomiarów hydrogeologicznych

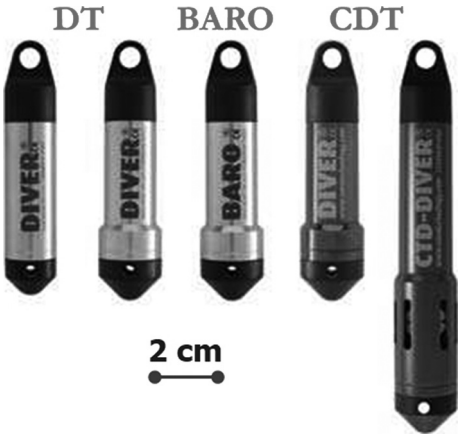
Podstawowym aparatem do pomiaru wahań zwierciadła wód podziemnych w piezometrach powinny być divery współpracujące z barodiverem. Jeśli w badanej zlewni wody podziemne obserwowane są w pojedynczym piezometrze, to należy w tym piezometrze zawiesić jeden diver, natomiast w pobliżu tego piezometru zawiesić na wysokości około 1–2 m nad powierzchnią terenu jeden barodiver. Jeśli piezometrów jest więcej niż jeden, to w każdym należy zawiesić diver i w pobliżu piezometrów dwa barodivery.

Diver to mikroprocesorowy, w pełni zminiaturyzowany, system pomiarowy przeznaczony do instalowania w otworach hydrogeologicznych oraz w wodach powierzchniowych. Divery mogą mierzyć:

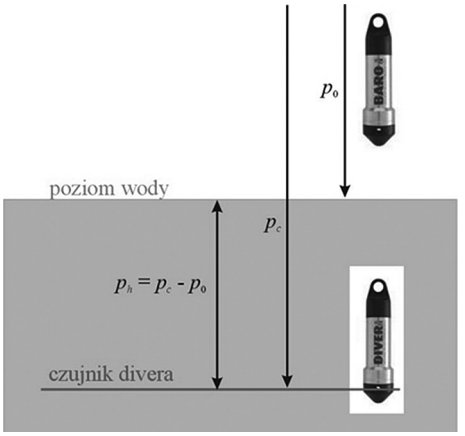
- poziom wody (*Depresion* D),
- temperaturę wody (*Temperature* T),
- przewodność elektrolityczną właściwą wody (*Conductivity* C),
- zawartość tlenu w wodzie (*Oxygen* O),
- ciśnienie atmosferyczne i temperaturę powietrza (*Barometric pressure* BARO).

Produkowane obecnie wersje diverów mierzą zwykle kilka parametrów: DT, CDT, OCDT, BARO (ryc. 6.10.2).

Diver jest programowany poprzez komputer z odpowiednim oprogramowaniem, po podłączeniu optycznej głowicy czytającej do portu USB. Programować można nazwę piezometru, datę i godzinę rozpoczęcia oraz częstotliwość



Ryc. 6.10.2. Przykłady różnych wersji diverów i barodivera



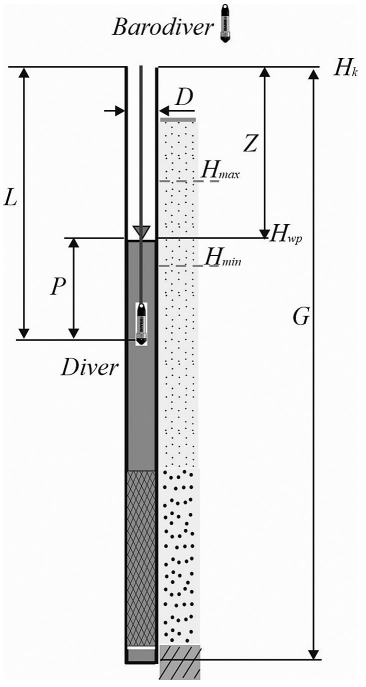
Ryc. 6.10.3. Zasada kompensacji wahań ciśnienia atmosferycznego dla dokładnych pomiarów poziomu wody; p_c – ciśnienie całkowite słupa wody oraz słupa powietrza mierzone przez diver; p_0 – ciśnienie atmosferyczne mierzone przez barodiver; p_h – cienienie hydrostatyczne słupa wody wyliczane jako różnica $p_c - p_0$

pomiarów. Wysoką dokładność pomiarów poziomu wody uzyskuje się poprzez kompensację wahań ciśnienia atmosferycznego. Zasadę kompensacji wahań ciśnienia atmosferycznego objaśnia rycina 6.10.3.

Diver musi być stale zanurzony w wodzie, dlatego powinien być zawieszony na lince stalowej lub kewlarowej na głębokości około 20 cm poniżej najniższych stanów wody w danym piezometrze (ryc. 6.10.4). Koniecznie należy dokładnie pomierzyć odległość *L* od czujnika divera do punktu pomiarowego (kryzy) piezometru. Pozwoli to na wyliczenie rzędnej zwierciadła wody w piezometrze ze wzoru:

$$H_{wp} = H_k - L + P$$

H_{wp} – rzędna zwierciadła wód podziemnych [m n.p.m.],
H_k – rzędna kryzy piezometru [m n.p.m.],
L – długość linki, na której zwieszony jest diver [m],
P – wysokość słupa wody zmierzona przez diver [m].



Ryc. 6.10.4. Piezometr z zamontowanym diverem oraz barodiverem

Dane zarejestrowane przez diver można przeczytać w dowolnym momencie i mogą być eksportowane w formie tabeli lub wykresu.

Parametry techniczne diverów:

- zasilane z baterii, której trwałość wynosi 8–10 lat,
- wymiary: średnica 22 mm, długość 80–125 mm, masa 160–220 g,
- obudowa ze stali nierdzewnej lub ceramiczna (do wód słonych),
- pojemność pamięci nie mniejsza niż 12 000 pomiarów.

Zakresy pomiarowe:

- poziom wody: 5 m, 10 m, 20 m, 30 m i 100 m,
- temperatura wody: od –20°C do +80°C,
- przewodność elektrolityczna właściwa wody: 0–5 $mS \cdot cm^{-1}$, 0–50 $mS \cdot cm^{-1}$,
- zawartość tlenu w wodzie: 0–20 mg $O_2 \cdot dm^{-3}$,
- ciśnienie atmosferyczne: 95–1050 hPa,
- temperatura powietrza: od –20°C do +80°C.

Częstotliwość pomiarów położenia zwierciadła wód podziemnych należy dostosować do jego tempa zmienności. W skrajnym przypadku, gdy obserwacji podlegają wahania zwierciadła wód podziemnych spowodowane poborem wody przez rośliny, pomiar można rejestrować nawet co godzinę (24 pomiary na dobę). W takim przypadku pamięć divera wystarczy na 500 dni, czyli odczytu wystarczy dokonać jeden raz w roku. Natomiast jeśli obserwacjom podlegają naturalne wahania zwierciadła wód podziemnych, to wystarczająca będzie częstotliwość jeden raz na dobę, a nawet jeden raz na tydzień. Pomiary położenia zwierciadła wód podziemnych należy rejestrować o godzinie 7:00 czasu UCT + 1:00. Trzeba zwrócić uwagę, że diver nie zmienia automatycznie czasu z zimowego na letni i odwrotnie. Dlatego zapisuje dane w takim czasie, w jakim rozpoczęła się dana seria pomiarowa.

Pomocnicze pomiary położenia zwierciadła wód podziemnych można wykonywać za pomocą świstawki. Pomiary te mogą mieć znaczenie dla kontroli prawidłowości działania diverów oraz w trakcie ich awarii.

W przypadku występowania w badanej zlewni źródlisk lub stref źródliskowych należy wykonywać pomiary wydajności, która dobrze charakteryzuje dynamikę i reżim zasilania źródeł. Stan wody w źródle jest zwykle stały lub zmienia się nieznacznie. Pomiary wydajności źródeł należy wykonywać co kwartał, w kolejnych porach roku. Przy małych wydajnościach, do 30 litrów na minutę, można stosować metodę podstawianego naczynia. Przy wydajnościach powyżej 30 litrów na minutę niezbędne będzie wybudowanie przelewu pomiarowego.

6.10.3.3. Zasady pobierania próbek wód podziemnych

Podczas typowania otworu hydrogeologicznego (studni lub piezometru) do poboru próbek wód podziemnych należy dokonać oceny jego stanu technicznego. Następnie przeprowadza się ocenę sposobu użytkowania terenu w najbliższym otoczeniu punktu badawczego w celu rozpoznania, czy otoczenie to nie wpłynie na reprezentatywność próbki.

Pobór próbek wód podziemnych do badań hydrochemicznych wykonuje się według następującej procedury:

1. Wykonanie pomiaru położenia zwierciadła wody *Z*, głębokości *G* otworu hydrogeologicznego poniżej kryzy oraz średnicy *D* rury nadfiltrowej.
2. Wykonanie pompowania oczyszczającego otworu nieeksploatowanego. Pompowanie powinno doprowadzić do usunięcia stagnującej w otworze wody podziemnej, o objętości nie mniejszej niż *V*, którą należy obliczyć ze wzoru:

$$V = 0{,}25 \cdot D^2 \cdot (G - Z)$$

D [cm]; G[m]; Z[m]; V[l]

Objaśnienia symboli podano na rycinie 6.10.4.

3. Za warunek uruchomienia dopływu do otworu wody podziemnej bezpośrednio z warstwy wodonośnej uznaje się stabilizację mierzonych w komorze przepływowej parametrów wody: temperatury (±0,2°C), przewodności elektrolitycznej właściwej (±5%) oraz odczynu (±5%). W otworach z zainstalowaną na stałe pompą głębinową pompowanie oczyszczające wykonuje się za pomocą tej pompy. W otworach bez pompy można zastosować pompę przenośną (np. typu GIGANT lub GRUNDFOS). Ważne jest, aby wodę z pompowania oczyszczającego odprowadzić na odległość gwarantującą, że nie przesączy się ona w pobliże pompowanego otworu hydrogeologicznego.
4. Wykonanie pomiaru parametrów fizykochemicznych wody, których wartości są niestabilne i szybko zmieniają się w czasie po pobraniu próbki i dlatego muszą być mierzone w terenie. Są to: temperatura (TEMP), odczyn (PH), tlen rozpuszczony (O2D), przewodnictwo elektryczne (COND). Pomiaru dokonuje się za pomocą elektrod umieszczonych w komorze przepływowej.
5. Pobranie próbek wody do pojemników, bez jej kontaktu z powietrzem atmosferycznym. Zalecane są pojemniki polietylenowe, polipropylenowe, poliwęglanowe lub szklane. Jeżeli w badanych wodach podziemnych mogą występować substancje, które ulegają rozkładowi pod wpływem światła, to należy zastosować pojemniki nieprzezroczyste.
6. Objętość próbek wody oraz warunki ich utrwalania określa każdorazowo laboratorium, które będzie wykonywało analizy hydrochemiczne. Laboratorium określa także sposób etykietowania próbek z uwzględnieniem wyników pomiarów parametrów fizyko-chemicznych wykonanych w trakcie pobierania próbek w terenie.
7. Podczas oczekiwania na transport do laboratorium próbki wody należy przechowywać w temperaturze około 4°C, bez dostępu światła.
8. Próbki powinny być dostarczone do laboratorium nie później niż 5 dni po ich pobraniu.

6.10.3.5. Zalecane metody analityczne

Zakres i częstotliwość badań, w wersji podstawowej i rozszerzonej, przedstawiono w tabelach 6.10.1 i 6.10.2. Poziom zwierciadła wody lub/i wydajność źródła należą do elementów oceny stanu zasobów wodnych (ilości wód zretencjonowanych w zlewni) i ich zmienności w czasie. Monitoring stanu chemicznego

wód podziemnych ma dostarczać dane niezbędne do uzyskania odpowiedniego poziomu ufności przy ustalaniu stanu wód podziemnych oraz wykrycia znaczących trendów zmienności zanieczyszczeń. Zakres monitoringu stanu chemicznego i częstotliwość badań zamieszczono w tabeli 6.10.1. Zalecane jest dołączenie do badań monitoringu stanu chemicznego tych wskaźników, które przekraczają wartości progowe przewidziane dla III klasy jakości wód podziemnych (tab. 6.10.3–5).

6.10.3.6. Metody obliczeń parametrów fizykochemicznych

Stan ilościowy wód podziemnych

Dla każdego siedliska, którego stan jest bezpośrednio zależny od wód podziemnych, należy określić zakres pożądanych rzędnych lub głębokości do zwierciadła wody podziemnej. Następnie należy ustalić, czy pomierzone zwierciadło wody zawiera się w określonych granicach. Gdy spełnione są warunki zakresu pożądanego, stan ilościowy może być oceniony jako dobry, w przeciwnym wypadku należy go ocenić jako słaby. Dla obszarów bagiennych oraz podmokłych podobnie ustala się pożądany zakres położenia zwierciadła wody podziemnej i analogicznie ocenia się stan ilościowy wód podziemnych.

Stan chemiczny wód podziemnych

W celu określenia stanu chemicznego wód podziemnych następujące czynniki powinny być brane pod uwagę:
- klasyfikacja monitoringowa wód podziemnych;
- ocena przydatności do zaopatrzenia w wodę do picia;
- analiza rozkładu przestrzennego wybranych wskaźników fizykochemicznych;
- określenie trendu zmian stężeń;
- określenie tła hydrogeochemicznego.

Znaczenie zasadnicze ma ocena klasy monitoringowej polegająca na porównaniu stężeń badanych wskaźników fizykochemicznych z wartościami progowymi poszczególnych pięciu klas (tab. 6.10.3–5). Klasyfikacja monitoringowa może być przeprowadzana dla:
- każdej z wykonanych analiz;
- punktu badawczego, gdy w okresie badań wykonano wiele analiz; w tym przypadku określenia klasy monitoringowej dokonuje się na podstawie średniej arytmetycznej stężeń parametrów fizykochemicznych z okresu badań;
- obszaru badań, w którym znajduje się wiele punktów badawczych. Agregacja przestrzenna danych dla obszaru badań polega na wyznaczeniu, ze stężeń z wielu punktów badawczych, wartości średnich zależnych od stopnia nierównomierności przestrzennego rozkładu punktów badawczych.

6.10.4. Kontrola i weryfikacja danych

Zakwalifikowanie do klasy monitoringowej odbywa się poprzez porównanie wartości uśrednionych stężeń wskaźników z wartościami progowymi klas, poda-

nych w tabelach klasyfikacyjnych (tab. 6.10.3–5). Jeśli wartości 90% lub większej liczby wyników mieszczą się w obrębie klas I–III – stan chemiczny uznaje się za dobry. Natomiast gdy należą do klas IV lub V, stan chemiczny należy uznać za słaby. Dopuszcza się możliwość wprowadzania zmian w zasadach klasyfikacji lub wartościach stężeń progowych wskaźników chemicznych w tabeli klasyfikacyjnej, gdy istnieje ku temu uzasadniony powód. Powodem takim może być sytuacja, w której wyższe niż progowe stężenia badanych substancji mają charakter geogeniczny lub nie są one substancjami zanieczyszczającymi.

Tabela 6.10.3. Wartości progowe dla **wskaźników ogólnych** jakości wody w klasach jakości wód podziemnych

Wskaźnik jakości wody	Jednostka	Typowe tło chemiczne	Wartości progowe w klasach I–V				
			I	II	III	IV	V
Odczyn	pH	6,5–8,5	6,5–9,5			< 6,5 lub > 9,5	
Ogólny węgiel organiczny	mg C/l	1–10	2	10	10	20	>20
Przewodność w 20°C	μS/cm	200–700	700	2500	2500	3000	> 3000
Temperatura	°C	4–20	6–10	12	16	25	> 25
Tlen rozpuszczony	mg O_2/l	0–5	> 1	0,5–1	< 0,5	< 0,5	< 0,5

Tabela 6.10.4. Wartości progowe dla **substancji nieorganicznych** jakości wody w klasach jakości wód podziemnych

Wskaźnik jakości wody	Jednostka	Typowe tło chemiczne[1)]	Wartości progowe w klasach I–V				
			I	II	III	IV	V
Amoniak	mg NH_4/l	0–1	0,5	1,0	1,5	3	> 3
Arsen	mg As/l	0,00005–0,020	0,01	0,01	0,1	0,2	> 0,2
Azotany	mg NO_3/l	0–5	10	25	50	100	> 100
Azotyny	mg NO_2/l	0–0,03	0,01	0,05	0,10	0,25	> 0,25
Bor	mg B/l	0,01–0,20	0,5	1	1	2	> 2
Chlorki	mg Cl/l	2–60	30	250	300	500	> 500
Chrom	mg Cr/l	0,0001–0,010	0,01	0,05	0,05	0,1	> 0,1
Cyjanki wolne	mg CN/l	<0,01	0,01	0,05	0,05	0,05	> 0,05
Cynk	mg Zn/l	0,005–0,050	0,05	0,8	3	10	> 10
Fluorki	mg F/l	0,05–0,5	0,5	1	1,5	2	> 2
Fosforany	mg PO_4/l	0,01–1,0	0,5	0,5	1	5	> 5
Glin	mg Al/l	0,05–0,1	0,1	0,2	0,5	1	> 1
Kadm	mg Cd/l	0,0001–0,0005	0,001	0,003	0,005	0,01	> 0,01
Magnez	mg Mg/l	0,5–30	30	50	100	150	> 150
Mangan	mg Mn/l	0,01–0,4	0,05	0,4	1	1	> 1
Miedź	mg Cu/l	0,001–0,020	0,01	0,05	0,2	0,5	> 0,5
Nikiel	mg Ni/l	0,001–0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	> 0,1
Ołów	mg Pb/l	0,001–0,010	0,01	0,05	0,05	0,2	> 0,2
Potas	mg K/l	0,5–10	10	10	15	20	> 20
Rtęć	mg Hg/l	0,00005–0,001	0,001	0,001	0,001	0,005	> 0,005

Wskaźnik jakości wody	Jednostka	Typowe tło chemiczne[1)]	Wartości progowe w klasach I–V				
			I	II	III	IV	V
Siarczany	mg SO_4/l	5–60	50	250	250	500	> 500
Sód	mg Na/l	1–60	60	200	200	300	> 300
Wapń	mg Ca/l	2–200	50	100	200	300	> 300
Wodorowęglany	mgHCO_3/l	60–360	200	350	500	500	> 500
Żelazo	mg Fe/l	0,02–5	0,3	1	5	10	> 10

[1)] W przypadku metali podane wartości progowe odnoszą się do ich formy rozpuszczonej

Tabela 6.10.5. Wartości progowe dla **substancji organicznych** jakości wody w klasach jakości wód podziemnych

Wskaźnik jakości wody	Jednostka	Typowe tło chemiczne	Wartości progowe w klasach I–V				
			I	II	III	IV	V
Benzen	mg/l	0	0,001	0,005	0,010	0,1	> 0,1
Fenole (indeks fenolowy)	mg/l	0–0,001	0,001	0,005	0,01	0,05	> 0,05
Oleje mineralne (indeks oleju mineralnego)	mg/l	0	0,01	0,01	0,03	0,05	> 0,05
Pestycydy[1)]	mg/l	0	0,00001	0,00001	0,0001	0,005	> 0,005
Substancje powierzchniowo czynne anionowe	mg/l	0	0,1	0,2	0,5	1	> 1
Tetrachloroeten	mg/l	0–0,0005	0,001	0,010	0,050	0,1	> 0,1
Trichloroeten	mg/l	0–0,003	0,001	0,010	0,050	0,1	> 0,1
Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne[2)]	mg/l	0,000001–0,00001	0,00001	0,00002	0,00003	0,00005	>0,00005

[1)] Pestycydy obejmują sumę pestycydów i ich metabolitów
[2)] Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne obejmują sumę: benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(a)pirenu, dibenzo(a,h)antracenu, benzo(g,h,i)perylenu, indeno(1,2,3-cd)pirenu

Charakterystykę poszczególnych klas jakości wód podziemnych można przedstawić następująco:

Klasa I – wody o bardzo dobrej jakości (wartości wskaźników jakości wody są kształtowane jedynie w efekcie naturalnych procesów zachodzących w warstwie wodonośnej i mieszczą się w zakresie typowego tła hydrogeochemicznego).

Klasa II – wody dobrej jakości (wartości wskaźników jakości wody nie wskazują na oddziaływania antropogeniczne albo z przyczyn naturalnych niektóre wskaźniki występują w stężeniach wymagających prostego uzdatniania przy wykorzystaniu wody do spożycia przez ludzi).

Klasa III – wody zadowalającej jakości (wartości wskaźników jakości wody są podwyższone w wyniku naturalnych procesów lub słabego oddziaływania antropogenicznego).

Klasa IV – wody niezadowalającej jakości (wartości wskaźników jakości wody są podwyższone w wyniku naturalnych procesów oraz wyraźnego oddziaływania antropogenicznego).

Klasa V – wody złej jakości (wartości wskaźników jakości wody potwierdzają znaczące oddziaływanie antropogeniczne).

Drugim elementem oceny jest badanie trendu zmian stężeń w zlewniach poddanych presji obszarowej. Analiza trendu przeprowadzona jest na danych poddanych analizie czasowej i przestrzennej dla całego obszaru badań. Aby badanie trendu było zasadne, niezbędne jest posiadanie odpowiedniej długości ciągu obserwacyjnego. Zalecane długości okresu obserwacji, w zależności od ich częstotliwości, podano w tabeli 6.10.6. Końcowa ocena stanu chemicznego wód podziemnych może być zła (wody o stanie słabym), gdy spełnia ona wymagania klas I–III, lecz charakteryzuje się wyraźnym trendem rosnącym stężenia zanieczyszczeń.

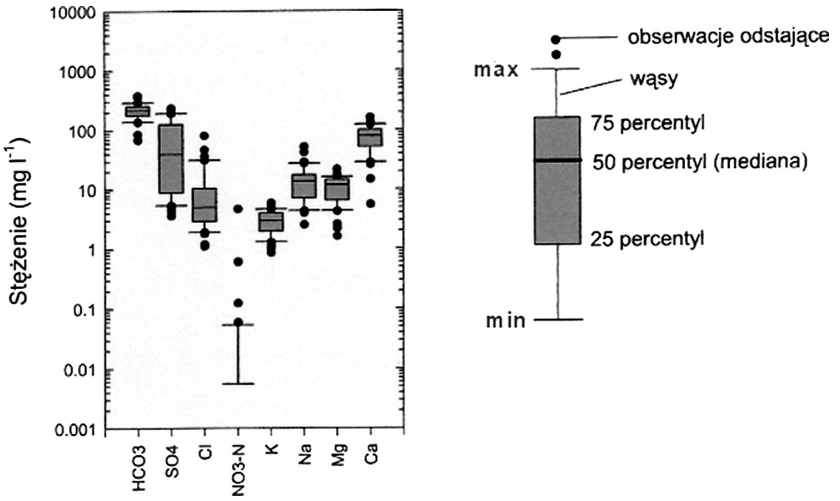
Tabela 6.10.6. Minimalna długość okresu obserwacji dla badania trendów zmian

Częstość prowadzenia badań	Trend monotoniczny		Odwrócenie trendu	
	liczba lat	liczba pomiarów	liczba lat	liczba pomiarów
1/rok	8	8	14	14
2/rok	5	10	10	18
1/kwartał	5	15	10	30

Tło hydrogeochemiczne to zakres stężeń danego pierwiastka, specjacji lub substancji chemicznej występującej w wodach podziemnych. Tło hydrogeochemiczne jest ograniczone dolną i górną granicą wartości stężeń, poza którymi występują anomalie hydrogeochemiczne. Tło hydrogeochemiczne określa się w zależności od:

- zakresu rozpatrywanych wskaźników (ogólne – obejmujące ogół substancji oraz cząstkowe – dotyczące jednego wskaźnika);
- wielkości rozpatrywanego obszaru (regionalne – dla regionu lub dużej struktury hydrogeologicznej oraz lokalne – dla jednostki lub rejonu hydrogeologicznego);
- rodzaju presji (naturalnej – dla obszaru nieobjętego antropopresją, o naturalnej zmienności hydrogeochemicznej oraz antropogennej – dla obszaru objętego antropopresją).

Dla określenia tła hydrogeochemicznego stosuje się metodę arytmetyczną lub metodę statystyki opisowej. Metoda arytmetyczna polega na określeniu wartości średniej arytmetycznej lub mediany, a następnie dodaniu do niej i odjęciu dwóch wartości odchylenia standardowego, obliczonego z całej populacji wartości stężeń w badanym obszarze. Metoda statystyki opisowej polega na sporządzeniu wykresu skrzynkowego z wąsem (ryc. 6.10.5), gdzie zakres górny tła odpowiada 75 percentylowi, a dolny 25 percentylowi.



Ryc. 6.10.5. Wykresy skrzynkowe obrazujące zakres tła chemicznego (Szczepańska, Kmiecik 1998)

6.10.5. Raportowanie danych do bazy danych

Raportowanie danych do Centralnej Bazy Danych ZMŚP powinno odbywać się zgodnie z aktualnymi wytycznymi. Przykładowy arkusz danych dla programu obligatoryjnego zaprezentowano w tabeli 6.10.7.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- Wszystkie oznaczenia parametrów fizykochemicznych i chemicznych przekazywane do bazy powinny zostać wykonane w próbce pobranej w ten sam sposób (liczba i czas poboru próbek w okresie pomiarowym). Jeżeli dotychczas wykonywano oznaczenia wybranych parametrów po okresie krótszym od okresu pomiarowego, np. po tygodniu, i podawano jako średnie miesięczne, w celu zachowania ciągłości serii nadal należy raportować te dane do bazy danych.
- W danych przekazywanych do bazy danych podajemy formę pierwiastkową: $S\text{-}SO_4$, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$.
- Jeżeli pH próbki jest równe lub mniejsze od 4,50, dla zasadowości (ALK) podajemy wartość 0 mg/l.
- W kolumnie medium dla studni i piezometrów umieszczamy kod TUBE, dla źródeł kod SPRING. Lista kodowa IM.
- W przypadku parametrów fizykochemicznych i chemicznych oraz poziomu zwierciadła wody (wydajności źródła), jeżeli pobór próbki lub pomiar (WL, SPRING_D) jest wykonywany raz na okres pomiarowy, podajemy datę w formacie RRRR-MM-DD, kolumna typ danych pozostaje pusta.
- Dla pomiarów wydajności źródła lub poziomu zwierciadła wody wykonywanych częściej niż raz na miesiąc do bazy danych przekazujemy wartość średnią arytmetyczną (kod typu danych X) oraz datę w formacie RRRR-MM-00.

Tabela 6.10.7. Zapis danych w bazie danych, program F2 – Wody podziemne. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
F2	XXZM	WP	007	TUBE	IM		2018-01-00	1	WL	DB	1145		X					cm p.p.t.	
F2	XXZM	WP	007	TUBE	IM		2018-02-00	1	WL	DB	1140		X					cm p.p.t.	
F2	XXZM	SG	012	TUBE	IM	20	2018–10–30	1	NA	DB	3,81			F1	DB	AE	DB	mg/l	
F2	XXZM	SG	012	TUBE	IM	20	2018-01–26	1	NH4N	DB	0,03			F1	DB	SPV	ZM	mg/l	
F2	XXZM	SG	012	TUBE	IM	20	2018-01–26	1	PTOT	DB	52,2			D2	DB	SPV	ZM	ug/l	
F2	XXZM	IG	007	SPRING	IM	5	2018-07-02	1	ALK	DB	329,4					TIZ	ZM	mg/l	
F2	XXZM	IG	007	SPRING	IM	5	2018–12–31	1	CL	DB	9,79			F3	DB	IC	DB	mg/l	
F2	XXZM	IG	007	SPRING	IM	5	2018-02-01	1	COND	DB	37,5					CNF	DB	mS/m	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium – typ stanowiska pomiarowego (Programy/Media [kategoria – frakcja]), F (LM) – kod listy medium, pole obligatoryjne, G (POZ) – głębokość w cm pobrania próbki poniżej zwierciadła wód podziemnych, pole obligatoryjne (poza stanem oraz wydajnością źródła), H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-00 lub RRRR-MM-DD, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru – oznacza ilość pojedynczych punktów poboru próbek, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne,
L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole opcjonalne (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole opcjonalne (Opisy/Metody przygotowania próby), P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, obligatoryjne, jeżeli podano metodę wstępnego przygotowania, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole opcjonalne (Opisy/Metody pomiarowe) (Instytucje/Laboratoria), R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole obligatoryjne, jeżeli podano kod metody analitycznej, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole niewykorzystywane w tym programie.

Literatura

Kazimierski B., 2006. Program pomiarowy F2: Wody podziemne. W: A. Kostrzewski, R. Kruszyk, R. Kolander (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, systemy pomiarowe, wybrane metody badań. Poznań.

Manual, 1998. Manual for Integrated Monitoring. ICP IM Programme Centre. Finnish Environment Institute, Helsinki, Finland (https://www.syke.fi/fi-FI).

Szczepańska J., Kmiecik E., 1998. Statystyczna kontrola jakości danych w monitoringu wód podziemnych. Wyd. AGH, Kraków.

Witczak S., Kania J., Kmiecik E., 2013. Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. Biblioteka Monitoringu Środowiska, IOŚ, Warszawa.

6.11. Program G2 – Opad organiczny

Marek Jóźwiak

Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach

6.11.1. Wprowadzenie, cel pomiarów

Geoekosystemy są miejscami integracyjnych interakcji między formami życia i otaczającym środowiskiem. W obrębie ekologicznych jednostek geoekosystemu funkcjonują zbiorowiska roślinne, które w warunkach naturalnych tworzą biogrupy. Biogrupy te mogą znajdować się w różnych stadiach rozwojowych – wczesnym, przejściowym lub dojrzałym (klimaksowym). Jednym ze wskaźników tego stanu jest opad organiczny.

Pod pojęciem opad organiczny należy rozumieć nadziemne części roślin, tworzących zbiorowisko, opadających w powietrzu na wysokości 70–80 cm. Opad organiczny jest zjawiskiem ciągłym, choć jego natężenie jest zróżnicowane w czasie i zależy od takich czynników, jak: struktura i skład gatunkowy roślin tworzących zbiorowisko, warunki atmosferyczne i okres wegetacyjny (Schimmnig, Stamm 1993, Kowalkowski, Jóźwiak 2003, 2007, Jóźwiak i in. 2015). Wyniki badań wskazują również na silną zależność opadu organicznego od klimatu. Przykładowo w środowisku tropikalnym największą obfitość opadu organicznego obserwuje się w końcowej części pory suchej i na początku pory deszczowej (Spain 1984). Jednak nawet na obszarach o analogicznym klimacie obfitość opadu organicznego może być zróżnicowana w zależności od właściwości gleby i obecności charakterystycznych zbiorowisk roślinnych (Pardo i in. 1997, Diaz-Maroto, Vila-Lameiro 2005).

Opad organiczny tworzy główną pulę materii organicznej na dnie lasu i w górnej części profilu glebowego, tym większą, im starszy jest drzewostan

w ekosystemie leśnym, choć produkcja ściółki rośnie do wieku około 30–50 lat, potem stopniowo maleje (Fiedler i in. 1973).

Poznanie ilościowego i jakościowego składu opadu organicznego w systemie monitoringu funkcjonowania geoekosystemów jest niewątpliwie elementem pozwalającym przybliżyć relacje między faktycznym stanem drzewostanu a warunkami panującymi w biotopie, szczególnie w glebach.

Celem pomiarów jest określenie ilościowego i jakościowego składu opadu organicznego oraz wielkości dopływu pierwiastków z opadem organicznym do gleby w geoekosystemach Stacji Bazowych ZMŚP.

6.11.2. Zakres parametrów pomiarowych

Analiza chemiczna obejmuje: w programie podstawowym $C_{org.}$, $N_{ogól.}$, $P_{ogól.}$ i K (tab. 6.11.1). W programie rozszerzonym: $S_{ogól.}$, Ca, Mg, Na, Mn, Zn, B, Cu, Mo, Pb, Cd (tab. 6.11.2).

Tabela 6.11.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego G2 – Opad organiczny

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Opad organiczny (masa sucha)	LDEP_D_f*	ZM	$g \cdot m^{-2}$, 2	12/rok
Całkowity węgiel organiczny $C_{org.}$	TOC	DB	$g \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 1	1/rok z prób miesięcznych
Azot ogólny $N_{ogól.}$	NTOT	DB	$g \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 1	
Fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT	DB	$g \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 2	
Potas K	K	DB	$g \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 2	

Tabela 6.11.2. Parametry rozszerzone programu pomiarowego G2 – Opad organiczny

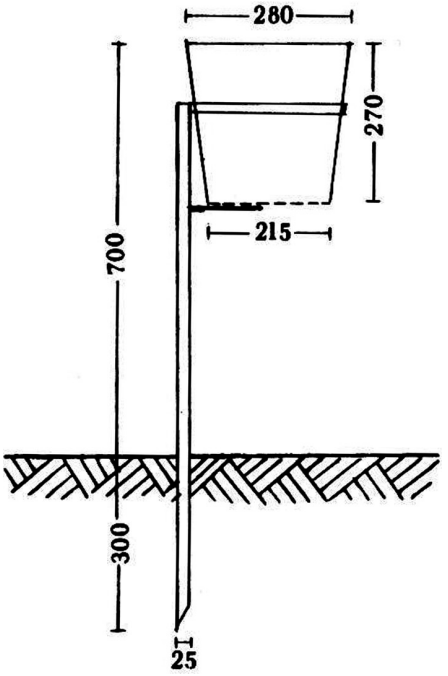
Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Siarka ogólna $S_{ogól.}$	STOT	DB	$g \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 1	1/rok z prób miesięcznych
Wapń Ca	CA	DB	$g \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 2	
Magnez Mg	MG	DB	$g \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 2	
Sód Na	NA	DB	$mg \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 2	
Mangan Mn	MN	DB	$mg \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 1	
Żelazo Fe	FE	DB	$mg \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 2	
Cynk Zn	ZN	DB	$mg \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 1	
Bor B	B	DB	$mg \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 3	
Miedź Cu	CU	DB	$mg \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 1	
Molibden Mo	MO	DB	$mg \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 3	
Ołów Pb	PB	DB	$mg \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 3	
Kadm Cd	CD	DB	$mg \cdot kg^{-1}$ suchej masy, 3	

Uwaga: do oznaczeń składników chemicznych nie należy dzielić opadu organicznego na poszczególne frakcje. Podział opadu organicznego na frakcje obowiązuje tylko dla obliczania masy suchej.
* f oznacza frakcję: I – igły, L – liście, O – owoce, P – pozostałe

Raport powinien zawierać zestawienie tabelaryczne wartości opadu organicznego [g·m^{-2}] dla masy suchej. Wartości opadu organicznego podajemy po podziale na cztery frakcje: organy asymilacyjne – liście, organy asymilacyjne – igły, owoce i pozostałe. Roczny opad organiczny oblicza się na podstawie próbek miesięcznych.

6.11.3. Metodyka

Chwytacze opadu organicznego powinny zostać wykonane z materiału chemicznie obojętnego – wiaderka polietylenowe w kolorze białym o dnie perforowanym (średnica otworów nie większa niż 1 mm) i umieszczone na wysokości 70–80 cm nad powierzchnią gruntu (wlot chwytacza) (ryc. 6.11.1).



Ryc. 6.11.1. Schemat chwytacza opadu organicznego

Liczba chwytaczy nie powinna być mniejsza niż 15 sztuk (sumaryczna powierzchnia wlotowa chwytaczy nie mniejsza niż 0,8 m^2).

Chwytacze powinny zostać umieszczone w siatce kwadratowej, w trzech rzędach po 5 sztuk. Odległość pomiędzy chwytaczami powinna wynosić 3 m.

Chwytacze opadu organicznego należy opróżniać po okresie miesięcznej ekspozycji w terenie w terminie od 28 do 1 dnia kolejnego miesiąca. Następnie świeży materiał organiczny (masa świeża) należy podzielić na 4 frakcje: organy asymilacyjne – liście, organy asymilacyjne – igły, owoce i pozostałe. Poszczególne frakcje wysuszyć w temperaturze 65°C przez okres 3–4 godz. i zważyć (masa sucha). Materiał wysuszony mieli się w młynku laboratoryjnym. Próbki po zmieleniu przechowywane są w pojemnikach zamkniętych (słoik, pojemnik plastikowy) w temperaturze pokojowej. W przypadku, gdy w danym miesiącu którakolwiek z frakcji występuje w ilościach śladowych (np. pojedyncza igła), należy ją przechowywać w opisanej kopercie. Po ostatnim (dwunastym) poborze próbek miesięcznych przechowywane dotąd w kopertach frakcje należy wysuszyć (jak wyżej) i zważyć (z każdego miesiąca oddzielnie) oraz zmielić, a następnie dodać do próbki rocznej. W przypadku kiedy suma danej frakcji zebranej w ciągu roku nadal jest jedynie w śladowych ilościach, materiał ten należy dodać do frakcji pozostałe.

Analizie chemicznej poddajemy próbkę roczną (całkowity materiał organiczny – organy asymilacyjne, owoce, pozostałe – zmieszany z próbek miesięcznych).

6.11.3.1. Wymagania stanowisk pomiarowych

Chwytacze poboru opadu organicznego powinny zostać umieszczone na lub w pobliżu powierzchni, gdzie prowadzony jest monitoring opadu podkoronowego, spływu po pniach i roztworów glebowych – to samo zbiorowisko roślinne.

6.11.3.2. Zalecane metody oznaczania składu chemicznego

Spektrofotometryczna metoda oznaczania jonów, ICP-MS/TOF; atomowa spektrometria absorpcyjna (ASA); analizator TOC-TN do oznaczania ogólnego węgla organicznego, węgla całkowitego, rozpuszczonego węgla organicznego w wodzie i w roztworach; analizator elementarny węgla, azotu, wodoru, siarki i tlenu występujących w próbkach w postaci organicznej (np. Flash 2000).

6.11.4. Interpretacja wyników

Skład gatunkowy drzewostanu m.in. poprzez opad organiczny modyfikuje szereg właściwości gleb, zarówno fizycznych, chemicznych, jak i biochemicznych. Opad roślinny wpływa także znacząco na morfologię gleb oraz stan odżywienia roślin i organizmów zasiedlających glebę. Dzięki nagromadzonemu na powierzchni materiałowi roślinnemu gleba charakteryzuje się wyższą wilgotnością, niższą temperaturą poziomów powierzchniowych, płytszą głębokością zamarzania oraz ma lepiej wykształcony poziom organiczny (Bednarek i in. 2005). Najważniejszy jest jednak fakt, że dzięki opadowi organicznemu do gleby powracają takie biogeny, jak: azot, fosfor czy potas. Pierwiastki dostarczone w ten sposób łatwo wchodzą do obiegu i równie łatwo są pobierane przez rośliny. Biogeny uwolnione ze ściółki, którą tworzy opad organiczny, należą do pierwiastków o dużej ekologicznej ruchliwości. Dotyczy to zwłaszcza tych pierwiastków biofilnych, które stanowią składniki materiałów budulcowych tkanek i które w nieznacznym stopniu są dostarczane z opadami atmosferycznymi. Dlatego tak ważny jest dopływ pierwiastków ze ściółki, stanowiący znaczący element zaopatrywania roślin w pierwiastki. W trakcie dekompozycji ściółki w procesach rozpuszczania cukrów prostych w wodzie, mineralizacji cukrów złożonych i ligniny przez mikroorganizmy, polimeryzacji fragmentów materii organicznej zostaje uwolniona szeroka pula pierwiastków od razu możliwych do przyswojenia przez florę. Zatem od tempa wyżej wymienionych procesów oraz od ilości uwolnionych w ten sposób pierwiastków zależy dostępność pierwiastków biofilnych dla roślin, a w następstwie produktywność ekosystemu (Grodzińska, Laskowski 1996, Baldrian, Šnajdr 2011). Oddziaływanie to, które obejmuje złożone procesy, jest szczególnie wyraźne w powierzchniowych poziomach profilu glebowego, a zatem wpływa na żyzność i produktywność gleb (Steiner i in. 2007). Bardzo ważnymi problemami, skupiającymi uwagę wielu badaczy, są kumulacja i mechanizmy odpowiedzialne za stabilizację węgla w glebie w kontekście ograniczenia negatywnych skutków zmian klimatu (Allison 2006, Mueller i in. 2012, Bowles i in. 2014).

6.11.5. Raportowanie danych do bazy danych

Raportowanie danych do Centralnej Bazy Danych ZMŚP powinno odbywać się zgodnie z aktualnymi wytycznymi. Przykładowy arkusz danych dla programu obligatoryjnego zaprezentowano w tabeli 6.11.3.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- Sumę opadu organicznego podajemy z podziałem na frakcje: I – igły, L – liście, O – owoce i P – pozostałe. Jeżeli w danym okresie pomiarowym nie odnotowano opadu wybranej frakcji, umieszczamy 0 w kolumnie wartość dla tej frakcji.
- Masę opadu organicznego podajemy jako sumę, kod S w kolumnie typ danych.
- Dla stężeń pierwiastków w opadzie organicznym kolumna typ danych pozostaje pusta.

Tabela 6.11.3. Zapis danych w bazie danych, program G2 – Opad organiczny. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
G2	XXZM	SW	015	ABIE ALB	B4	100	2018-00-00	15	NTOT	DB	51,2					GC	DB	g/kg suchej masy	
G2	XXZM	MR	015	ABIE ALB	B4	100	2018-00-00	15	PTOT	DB	0,58					XRF	ZM	g/kg suchej masy	
G2	XXZM	SW	015	ABIE ALB	B4	100	2018-03-00	15	LDEP_D_I	ZM	2,94		S			GV	DB	g/m2	
G2	XXZM	SW	015	ABIE ALB	B4	100	2018-04-00	15	LDEP_D_I	ZM	2,86		S			GV	DB	g/m2	
G2	XXZM	SW	015	ABIE ALB	B4	100	2018-09-00	15	LDEP_D_L	ZM	6,82		S			GV	DB	g/m2	
G2	XXZM	SW	015	ABIE ALB	B4	100	2018–10-00	15	LDEP_D_L	ZM	162,89		S			GV	DB	g/m2	
G2	XXZM	SW	015	ABIE ALB	B4	100	2018-03-00	15	LDEP_D_P	ZM	5,02		S			GV	DB	g/m2	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium – kod gatunku drzewa, pole obligatoryjne (Programy/Media [kategoria – drzewa]), F (LM) – kod listy medium, pole obligatoryjne, G (POZ) – określa wysokość w cm wlotu chwytacza nad powierzchnią gruntu, pole obligatoryjne, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-00, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru – oznacza ilość chwytaczy opadu organicznego, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole opcjonalne (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole opcjonalne (Opisy/Metody przygotowania próby), P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, pole obligatoryjne, jeżeli podano metodę wstępnego przygotowania, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole obligatoryjne (Opisy/Metody pomiarowe) (Instytucje/Laboratoria), R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole obligatoryjne, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole niewykorzystywane w tym programie.

Literatura

Allison S.D., 2006. Soil minerals and humic acids alter enzyme stability: implications for ecosystem processes. Biogeochemistry, 81: 361–373.

Baldrian P., Šnajdr J., 2011. Lignocellulose-degrading enzymes in soil. W: G. Shukla, A. Varma (red.), Soil enzymology. Springer-Verlag, Berlin: 167–186.

Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojska U., Prusinkiewicz Z., 2005. Badania ekologiczno-gleboznawcze. PWN, Warszawa.

Bowles T.M., Acosta-Martínez N., Calderón F., Jackson L.E., 2014. Soil enzymes activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. Soil Biology and Biochemistry, 68: 252–262.

Diaz-Maroto I.J., Vila-Lameiro P., 2005. Seasonal evolution of soil chemicals properties and macronutrients in natural forests od *Quercus robur* L. in Galicia. Spain-Agrochimica, 49: 201–211.

Fiedler H.J., Nebe W., Hoffmann F., 1973. Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. V.E.B. Gustav Fischer Verlang, Jena: 11–418.

Grodzińska K., Laskowski R. (red.), 1996. Ocena stanu środowiska i procesów zachodzących w lasach zlewni potoku Ratanica (Pogórze Wielickie, Polska Południowa). Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

Jóźwiak M., Jóźwiak M.A., Kozłowski R., 2015. Opad organiczny jako biowskaźnik stanu geoekosystemów. Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 17: 11–19.

Kowalkowski A., Jóźwiak M., 2003. Dynamika opadu organicznego w latach 1994–2002 w dwóch drzewostanach górskiej kwaśnej buczyny na głównym masywie Łysogór. Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 4: 78–98.

Kowalkowski A., Jóźwiak M., 2007. Czasowa zmienność opadu organicznego w drzewostanach jodłowo-bukowych w latach 1994–2006 na głównym masywie Łysogór. Monitoring Środowiska Przyrodniczego, 8/07: 65–72.

Mueller K.E., Eissenstat D.M., Hobbie S.E., Oleksyn J., Jagodzinski A.M., Reich P.B., Chadwick O.A., Chorover J., 2012. Tree species effects on coupled cycles of carbon, nitrogen, and acidity in mineral soils at a common garden experiment. Biogeochemistry, 111: 601–614.

Pardo F., Gil L., Pardos J.A., 1997. Field study of beech (*Fagus sylvatica*) and melojo oak (*Quercus pyrenaica*) leaf litter decomposition in the centre of the Iberian Peninsula. Plant and Soil, 191: 89–100.

Schimming C.G., Stamm S., 1993. Arbeitsbericht 1988–1991. Anhang Untersuchungsmethoden, Interne Mitteilungen, Kiel, 2: 1–257.

Spain A.V., 1984. Litterfall and the standing crop of litter in three tropical Australian rainforest. Journal of Ecology, 72: 947–961.

Steiner C., Teixeira W.G., Lehman J., Nehls T., de Macêdo J.L.U., Blum W.E.M., Zech W., 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. Plant and Soil, 291: 275–290.

6.12. Program H1 – Wody powierzchniowe – rzeki

Maciej Lenartowicz

Zakład Hydrologii, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski

6.12.1. Wprowadzenie, cel pomiarów

Odpływ rzeczny jest najczęściej głównym (chociaż nie jedynym) strumieniem odprowadzania wody, a z nią roztworów i substancji stałych (rumowiska) z obszaru zlewni. Uczestniczą w nim dwie składowe – powierzchniowa i podziemna. Są one zmienne zarówno w czasie, jak i w przestrzeni. Zasilanie podziemne cieków decyduje o stabilności odpływu rzecznego w przypadku braku zasilania powierzchniowego, pochodzącego z opadów lub topnienia pokrywy śnieżnej. Woda odpływająca ciekiem jest nośnikiem substancji rozpuszczonych, odprowadzanych ze zlewni. Właściwy pomiar objętości odpływu i poprawna ocena jego zmienności w czasie staje się podstawą obliczeń ładunków pierwiastków i związków chemicznych odprowadzanych ze zlewni.

Badania hydrologiczne odpływu rzecznego musi w każdym przypadku poprzedzać jasne zdefiniowanie granic obiektu badawczego, jakim jest zlewnia topograficzna. Podstawą określenia przebiegu topograficznego działu wodnego, stanowiącego granice zlewni, jest mapa topograficzna lub numeryczny model terenu (NMT). Wskazane jest zastosowanie NMT o dokładności adekwatnej do rozmiaru zlewni. Najbardziej pożądane byłoby wykorzystanie danych pochodzących ze skaningu laserowego (LIDAR), których rozdzielczość przestrzenna wynosi 1 m, a błąd średni wysokości nie przekracza 0,2 m. Może to być jednak utrudnione w zlewniach o stosunkowo dużej powierzchni. W takich przypadkach rozdzielczość NMT można zmniejszyć do np. 5 m. Poza obszarami o wyraźnej rzeźbie erozyjnej przebieg topograficznego działu wodnego może się zmieniać w stosunkowo krótkim czasie w wyniku oddziaływania procesów naturalnych (np. ruchy masowe, erozja rzeczna, zmiana kierunku drenażu związana ze zmianami wysokości zwierciadła wód w jeziorach itp.), ale też w wyniku antropopresji (przemiany sieci rzecznej, zabudowa terenu, eksploatacja kopalin itp.). Granice wyznaczonych zlewni badawczych powinny podlegać kontroli poprawności przynajmniej raz na 5 lat. Kontrola ta powinna uwzględniać wizję terenową oraz analizę najnowszych danych topograficznych odnoszących się do obszarów potencjalnie problematycznych pod względem antropopresji oraz natężenia procesów erozji i akumulacji. W każdym przypadku wykorzystane powinny zostać w tym celu najnowsze dostępne materiały kartograficzne i geodezyjne (ortofotomapy, BDOT10k, numeryczne modele terenu). Zastosowanie materiałów o coraz większej rozdzielczości powinno prowadzić do zwiększania dokładności oszacowania powierzchni zlewni, a w efekcie do zmniejszenia błędu oszacowania warstwy odpływu, odpływu jednostkowego czy ładunków substancji rozpuszczonych. Podstawowym sposobem wyznaczania przebiegu działu wodnego jest metoda manualna na podstawie

szczegółowej mapy topograficznej (zalecana skala 1:10 000). Dostępne są także metody automatyczne oferowane w ramach pakietów oprogramowania GIS, wykorzystujące numeryczne modele terenu opracowane na podstawie map topograficznych lub danych pierwotnych (np. LIDAR).

W skład sieci zlewni badawczych ZMŚP mogą wchodzić zlewnie różnego typu: regularne (czynne) zlewnie rzeczne obejmujące obszar zasilający źródłowe (górne) odcinki cieków po wyznaczony profil zamykający, zlewnie różnicowe stanowiące obszar zasilania odcinka cieku między dwoma wyznaczonymi profilami pomiarowymi oraz zlewnie jeziorne (ryc. 6.12.1). W każdym przypadku wyznaczona zlewnia rzeczna (bądź rzeczno-jeziorna) musi być zamykana przez profil wodowskazowy, w którym prowadzone są pomiary umożliwiające ocenę wielkości odpływu. W wejściu do zlewni różnicowych bezwzględnie zlokalizowany powinien być profil pomiarowy, kontrolujący dopływ rzeczny oraz skład chemiczny wód w identycznym zakresie i kroku czasowym jak profil zamykający. Zlewnia jeziorna powinna być wyznaczona po profil zamykający, zlokalizowany możliwie

Ryc. 6.12.1. Przykładowe typy zlewni: a) czynna rzeczna, b) czynna jeziorna, c) czynna rzeczna różnicowa, d) bezodpływowa (opracowanie własne)

blisko miejsca istnienia wypływu z jeziora. Specjalnym przypadkiem są zlewnie bezodpływowe. Nie są one odwadniane przez sieć drenażu powierzchniowego. Brak z nich odpływu rzecznego, chociaż w ich obrębie mogą występować cieki czy jeziora. W tej sytuacji nie wyznacza się profilu zamykającego zlewnię.

Granice zlewni badawczej ZMŚP powinny bezwzględnie odpowiadać przebiegowi działu wodnego wyznaczonemu w przypadku zlewni czynnej po profil wodowskazowy, pełniący funkcję profilu zamykającego. Powierzchnia zlewni, która potrzebna jest do obliczania warstwy odpływu, odpływu jednostkowego i ładunków substancji rozpuszczonych powinna być wyznaczona w km^2 z dokładnością do 3 miejsc dziesiętnych.

Zmienność czasowa odpływu wynika ze zmiennego w czasie, przestrzeni i w formie zasilania zlewni rzecznej. Poprawne jej oszacowanie wymaga długiego (najlepiej wieloletniego) ciągu codziennych pomiarów stanów wody i natężenia przepływu wraz z obserwacjami zarastania i zlodzenia koryta rzecznego. Nieprzerwany i jednorodny ciąg danych dobowych jest podstawą obliczania tzw. charakterystycznych wartości stanów wody i natężenia przepływu, a następnie współczynników liczbowych, które umożliwiają wstępną ocenę obiegu wody w zlewni (współczynnik odpływu) czy ustroju rzecznego (współczynnik przepływu). Odpływ rzeczny jest istotnym, wyznaczanym niezależnie (na podstawie pomiarów), elementem bilansu wodnego zlewni, którego równanie charakteryzuje całokształt procesów krążenia wody w zlewni.

Strumień odpływającej ze zlewni wody jest wypadkową procesów hydrologicznych zachodzących na jej obszarze i związanych z zasilaniem, retencją, wymianą podziemną, ewapotranspiracją oraz formowaniem się odpływu. Program H1 pozostaje zatem w ścisłym związku z pozostałymi programami monitoringu, takimi jak: A1 – Meteorologia, F2 – Wody podziemne czy H2 – Wody powierzchniowe – jeziora, które dają możliwość opisu elementów obiegu wody, takich jak np. zasilanie opadowe, ewapotranspiracja, retencja wód podziemnych i powierzchniowych. Łączna analiza wyników wymienionych programów stanowi bezcenne źródło informacji w aspekcie interpretacji, np. hydrobiologii rzek czy dynamiki stanu roślinności.

Krążąca w środowisku woda jest głównym nośnikiem migrujących pierwiastków. Rozpoznanie procesów obiegu wody, których wynikiem jest odpływ rzeczny obserwowany w ramach programu H1, stanowi zatem podstawę do wnioskowania m.in. odnośnie do obiegu materii w geoekosystemach zlewni. Wykonywane na podstawie pomiarów obliczenia ładunków substancji chemicznych wyprowadzanych ze zlewni wraz z odpływem rzecznym uzupełniają obliczenia prowadzone w ramach innych programów, takich jak: Chemizm opadów atmosferycznych (C1), Chemizm opadu podkoronowego i spływu po pniach (C2 i C3), Chemizm roztworów glebowych (F1), Wody podziemne (F2), Wody powierzchniowe – jeziora (H2) i opisują łącznie obieg pierwiastków (w tym biogenów).

6.12.2. Zakres parametrów pomiarowych

Zakres parametrów fizycznych w programie H1 nie jest zbyt szeroki (tab. 6.12.1, 6.12.2). Najważniejszym elementem jest natężenie przepływu (przepływ). W przypadku przelewów może być on mierzony niezależnie, jednak w klasycznych posterunkach wodowskazowych wartości przepływu wyznaczane są na podstawie obserwacji stanów wody i wyrywkowych pomiarów przepływu. Kluczowe jest w tym kontekście określenie zależności między stanem wody a natężeniem przepływu w profilu pomiarowym wyrażanej krzywą przepływu. Pomocne są w tym obserwacje dwóch innych parametrów, tzn. zarastania i zlodzenia koryta cieku, co objaśniono przy okazji opisu zasad pomiarów hydrometrycznych. Krzywa przepływu umożliwia oznaczenie chwilowego natężenia przepływu tylko na podstawie pomiaru stanu wody. Wymienione powyżej parametry powinny być pozyskiwane w trybie ciągłym (stany wody) oraz dobowym (przepływ, zlodzenie i zarastanie). Z kolei w trybie miesięcznym powinny być pozyskiwane wartości stężenia zawiesiny. Jest to bardzo ważny parametr, który umożliwia przybliżoną ocenę intensywności procesu transportu rumowiska wynoszonego ze zlewni badawczej. Zastosowany w jego przypadku krok czasowy jest tożsamy z tym, użytym do pozyskiwania parametrów chemicznych. W miarę możliwości mógłby być jednak dostosowany do zmienności przepływu rzeki (pobór prób podczas występowania niskich, średnich i wysokich stanów wody).

Zakres parametrów chemicznych mierzonych w programie H1 (tab. 6.12.1, 6.12.2) pozostaje w ścisłym związku z zakresem innych programów, takich jak np. Chemizm opadów atmosferycznych (C1), Chemizm opadu podkoronowego i spływu po pniach (C2 i C3), Chemizm roztworów glebowych (F1), Wody podziemne (F2), Wody powierzchniowe – jeziora (H2). W ramach programu obligatoryjnego są one dobrane w sposób umożliwiający ocenę obiegu głównych jonów i podstawowych biogenów poprzez zestawienia bilansów jonowych, klasyfikacji hydrogeochemicznych itp. Nie bez znaczenia jest w tym zestawie obecność wybranych wskaźników tlenowych oraz przewodności elektrolitycznej właściwej. W ramach programu rozszerzonego badane są przede wszystkim jony metali.

Tabela 6.12.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego H1 – Wody powierzchniowe – rzeki

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Poziom wody	WL	DB	cm, 0	ciągła rejestracja
Zjawiska lodowe – rzeka	ZLR	ZM	kod	obserwacja dobowa
Zarastanie koryta	ZK	ZM	kod	obserwacja dobowa
Przepływ obliczony na podstawie aktualnej krzywej przepływu	Q_E	ZM	$m^3 \cdot s^{-1}$, 3	1/doba

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Temperatura wody	TEMP	DB	°C, 1	1/miesiąc
Przewodność elektrolityczna właściwa	COND	DB	$mS \cdot m^{-1}$, 1	
odczyn (pH)	PH	DB	[–], 2	
Zasadowość (jeżeli pH >4,5)	ALK	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Sód Na	NA	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Potas K	K	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Wapń Ca	CA	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Magnez Mg	MG	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Azot azotanowy $N\text{-}NO_3$	NO3N	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Azot amonowy $N\text{-}NH_4$	NH4N	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Siarka siarczanowa $S\text{-}SO_4$	SO4S	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Chlorki Cl	CL	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Tlen rozpuszczony O_2	O2D	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
BZT_5	BZT5	ZM	$mgO_2 \cdot dm^{-3}$, 1	
Zawiesina	SUS	ZM	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	

Tabela 6.12.2. Parametry rozszerzone programu pomiarowego H1 – Wody powierzchniowe – rzeki

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Krzemionka SiO_2	SIO2	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	1/miesiąc
Fosfor fosforanowy $P\text{-}PO_4$	PO4P	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 0	
Rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Kadm Cd	CD	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Miedź Cu	CU	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Ołów Pb	PB	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Mangan Mn	MN	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Cynk Zn	ZN	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Nikiel Ni	NI	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Arsen As	AS	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Żelazo Fe	FE	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Chrom Cr	CR	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Glin Al	AL	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	

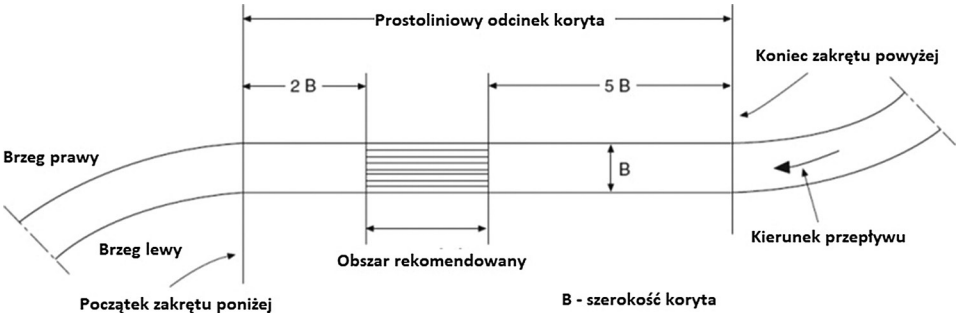
6.12.3. Metodyka

6.12.3.1. Wymagania stanowisk pomiarowych

Pomiar stanów wody wykonuje się w starannie wybranych przekrojach poprzecznych koryta rzeki, czyli w tzw. profilach wodowskazowych. W znajdujących się tam posterunkach prowadzi się kontrolę stanów wody, które są miarą napełnienia koryta rzecznego wodą. Kontrola ta prowadzona jest przez obserwatora za pomocą urządzeń rejestrujących (limnimetrów) i odczytów na łacie wodowskazowej. Zarówno łaty wodowskazowe, jak i limnimetry powinny być tak usytuowane, aby przy pomiarze wyeliminować wszelkie zakłócenia, takie jak wpływ falowania, zjawisk lodowych, roślinności, cofki pochodzenia naturalnego lub antropogenicznego, niejednorodności pola prędkości przepływu wody w korycie (np. na zakrętach rzeki), intensywnych procesów erozji i sedymentacji oraz antropopresji (np. ujęcia wód, zrzuty ścieków, gwałtowne spływy wód deszczowych i roztopowych z obszarów zabudowanych). Nie jest także rekomendowane zakładanie posterunków pomiarowych na niestabilnych gruntach organicznych.

Najczęściej zaleca się lokalizację posterunku wodowskazowego w środku prostoliniowego odcinka rzeki o długości równej co najmniej pięciokrotności szerokości koryta (niektórzy autorzy proponują dziesięciokrotność szerokości koryta jako optymalną długość prostoliniowego odcinka pomiarowego) (ryc. 6.12.2). Pozostałe wymagania stawiane lokalizacji posterunku to (Bajkiewicz-Grabowska i in. 1993):

- możliwie największy zakres wahań stanów wody mieszczący się w korycie, czemu sprzyja brak rozwiniętego systemu tarasów;
- zwarte koryto o wyrównanym dnie, a jeżeli jest to rzeka meandrująca, to należy wybrać raczej lokalizację poniżej plosa, a unikać przemiałów;
- koryto wolne od roślinności wodnej oraz gałęzi i pni powalonych drzew, które utrudniają pomiar przepływu;
- zwięzły materiał dna, a samo koryto niepodlegające rozmywaniu ani zamulaniu (stan równowagi);
- optymalne nachylenie brzegów koryta to 20–30°;
- łatwa dostępność profilu pomiarowego w celu wykonywania obserwacji.



Ryc. 6.12.2. Rekomendowana lokalizacja profilu wodowskazowego (na podstawie Boiten 2003)

Jeżeli w przekroju wodowskazowym nie można zainstalować rejestratora stanów wody lub doszło do jego awarii, wówczas podstawą kontroli napełnienia koryta jest łata wodowskazowa. Łata wodowskazowa powinna być bezwzględnie zainstalowana także w przypadku ciągłej automatycznej rejestracji stanów wody. Służy ona wtedy do kontroli poprawności zapisów limnimetrycznych. Łata powinna być stabilnie posadowiona w korycie, w miejscu umożliwiającym odczytanie stanów wody w pełnym zakresie wahań stanów wody. Jeżeli spełnione są powyższe kryteria lokalizacji łaty, to nie jest istotne, czy jest to prawy czy lewy brzeg koryta.

Zaleca się, aby w wyznaczonym profilu wodowskazowym możliwe było zarówno dokonywanie pomiarów przepływu (jeżeli brak jest przelewu pomiarowego), jak i pobieranie prób wody do analiz chemicznych (patrz zasady pobierania próbek wód rzecznych). Z tej przyczyny lokalizacja posterunku hydrologicznego powinna zapewniać minimalizację czynników zakłócających reżim geochemiczny (np. bliskość miejscowości, ujęcia wód, zrzuty ścieków, zbiorniki retencyjne, stawy czy młyny położone powyżej profilu, żeremia i tamy bobrowe). Jeśli nie jest możliwy pomiar przepływu czy pobór prób w profilu wodowskazowym, należy to czynić w najbliższej lokalizacji. Trzeba mieć na uwadze, że w rzekach nizinnych intensywna filtracja boczna w korycie rzecznym może zmieniać znacząco warunki przepływu nawet na odległości kilkudziesięciu metrów.

Zlewnie czynne powinny być wyposażone w jeden posterunek wodowskazowy stanowiący ich profil zamykający. Instalowanie dodatkowych posterunków w zlewniach rzecznych nie jest obowiązkowe. W przypadku czynnych zlewni jeziornych wystarczający jest jeden posterunek, pod warunkiem, że stanowi profil zamykający zlewnię i jest zlokalizowany na wypływie z jeziora. Jeżeli planowane jest opracowanie bilansu wodnego i geochemicznego jeziora przepływowego, to wskazane jest ustanowienie posterunków wodowskazowych na wypływie z jeziora i na jego dopływach (o ile jest to możliwe przy spełnieniu wszystkich kryteriów).

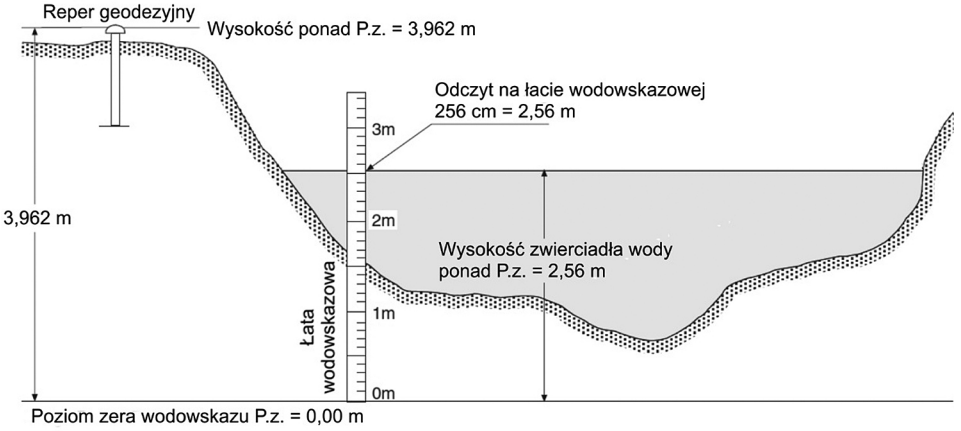
Zlewnie rzeczne czynne różnicowe powinny być obowiązkowo wyposażone w dwa posterunki wodowskazowe na ich wejściu oraz w zamknięciu. W sytuacji, kiedy nie ma żadnej lokalizacji umożliwiającej założenie jednego z tych posterunków, można przenosić informację hydrologiczną do brakującej lokalizacji na podstawie wykonywanych pomiarów w posterunku istniejącym (np. z profilu początkowego do profilu zamykającego). Należy pamiętać, że tego rodzaju obliczenia stosowalne są tylko odnośnie do wartości charakterystycznych stanów wody i natężenia przepływu (patrz: metody obliczeń parametrów hydrologicznych).

W zlewniach bezodpływowych nie można zlokalizować posterunków wodowskazowych reprezentujących całą zlewnię. Dlatego realizacja programu H1 (Wody powierzchniowe – rzeki) jest tam utrudniona. W przypadku, kiedy w zlewni istnieje sieć rzeczna i odpowiednia lokalizacja dla posterunku wodowskazowego, zaleca się jego założenie i prowadzenie pomiarów, jednak należy wyznaczyć w zlewni badawczej zlewnię cząstkową (wodowskazową), którą ten posterunek reprezentuje. W zlewniach bezodpływowych możliwe są też inne rozwiązania, które zależą od lokalnych uwarunkowań (np. prowadzenie programu H1 poza zasadniczą zlewnią badawczą).

6.12.3.2. Aparatura pomiarowa

Wielkość przepływu oraz stężeń substancji rozpuszczonych w wodzie jest niezbędna do oszacowania ładunku roztworów i substancji stałych odpływających ze zlewni. Pozwala ono na zestawienie bilansu transportu materii w zlewni. Najlepszym rozwiązaniem jest rejestracja ciągła stanów wody i natężenia przepływu dzięki zainstalowaniu stałego przelewu z urządzeniem rejestrującym (limnigrafem lub limnimetrem).

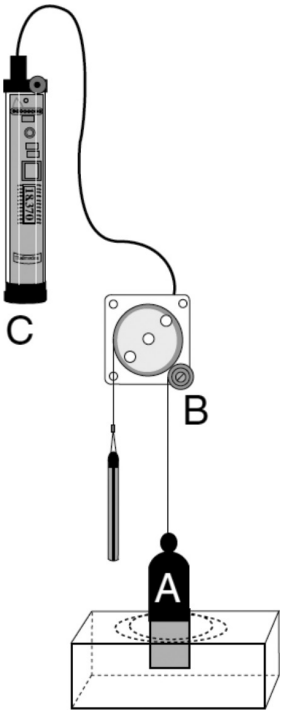
Podstawą wyposażenia profilu pomiarowego jest łata wodowskazowa, która może stanowić zarówno główny, jak i wspomagający element służący do pomiarów stanów wody. Każda łata wodowskazowa powinna posiadać wyznaczony poziom zera (P.z.), który stanowi odniesienie dla pomiarów położenia zwierciadła wody. P.z. powinien być kontrolowany corocznie w dowiązaniu do repera geodezyjnego o znanej rzędnej w m n.p.m. (ryc. 6.12.3).



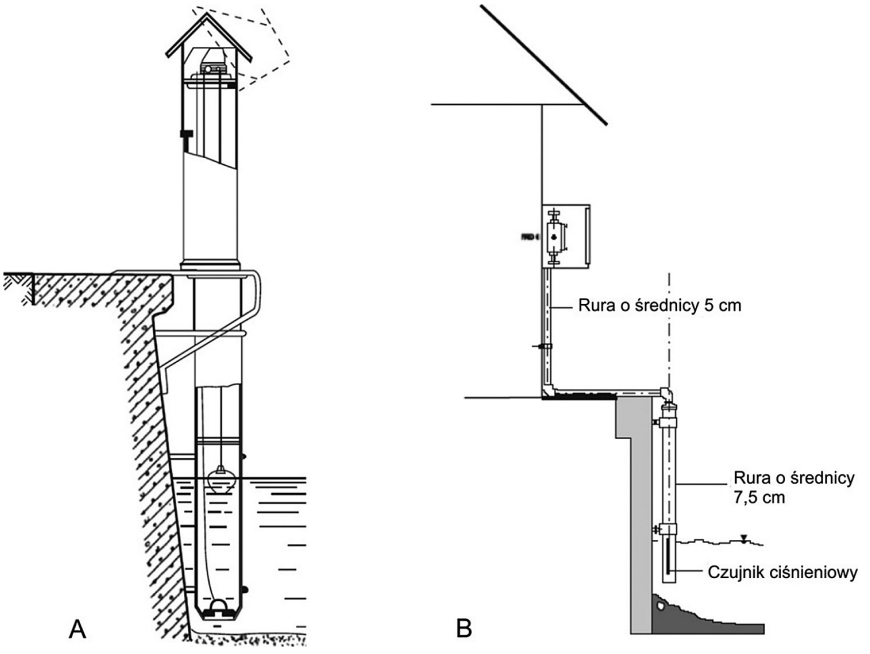
Ryc. 6.12.3. Schemat profilu wodowskazowego (Boiten 2003)

Nowoczesny monitoring hydrologiczny wymaga stosowania bardziej zaawansowanych technik pomiarowych, umożliwiających stały pomiar stanów wody w kroku godzinnym, 15-minutowym lub jeszcze krótszym. W tym celu w profilu wodowskazowym należy zainstalować limnimetr (ryc. 6.12.4). Jest to urządzenie, które dokonuje automatycznych pomiarów stanu wody w zadanym kroku czasowym i rejestruje ich wyniki w formie cyfrowej. Pomiar może być wykonywany z wykorzystaniem różnych technik (np. pływakowej) i sensorów (optyczny, elektromagnetyczny, ciśnieniowy). Zastosowanie konkretnej techniki pomiaru warunkuje konstrukcję limnimetru (ryc. 6.12.5) i jest zależne od lokalnych uwarunkowań profilu wodowskazowego (morfometria profilu, rodzaj i stabilność utworów powierzchniowych itp.). Serie danych (np. godzinowych) zarejestrowanych przez limnimetr umożliwiają sporządzenie hydrogramu stanów wody, który ilustruje zmiany stanów wody w czasie.

Oprócz stanów wody w profilu wodowskazowym powinno się prowadzić pomiary natężenia przepływu. Wyniki tych pomiarów umożliwiają określenie

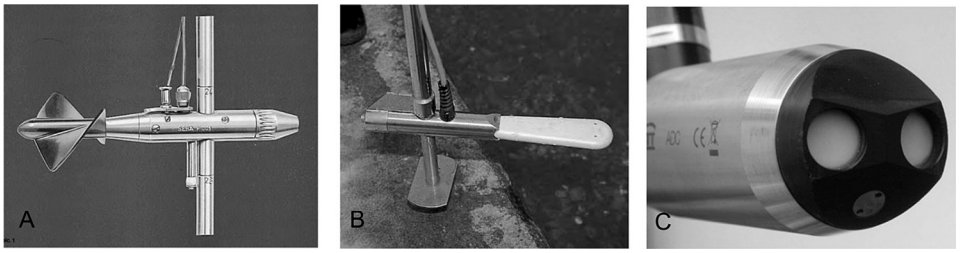


Ryc. 6.12.4. Schemat limnimetru: A – pływak, B – czujnik optyczny, elektromagnetyczny lub ciśnieniowy, C – rejestrator danych (datalogger) (Boiten 2003)



Ryc. 6.12.5. Limnimetr pływakowy (A) oraz wyposażony w czujnik ciśnieniowy (Morgenschweis 2010)

zależności między wartościami stanów wody i natężenia przepływu. Do prowadzenia wyrywkowych/terminowych pomiarów natężenia przepływu zaleca się stosowanie pośrednich metod typu powierzchnia–prędkość z wykorzystaniem klasycznego młynka hydrometrycznego lub bardziej zaawansowanych czujników elektromagnetycznych czy dopplerowskich, np. ADC, ADCP (ryc. 6.12.6). Są to urządzenia, które sprawdzają się w przypadku niezbyt głębokich (do ok. 1,5 m) i szerokich (do ok. 10–15 m) cieków o niskich i umiarkowanych prędkościach przepływu wody, których pomiary można wykonywać brodząc bądź stojąc na niewysokim moście czy kładce. Nie są natomiast przydatne w przypadku cieków bardzo małych, płytkich i wolno płynących (z wyjątkiem ADC). Pomiary rzek o większej szerokości i głębokości wykonuje się z dużo lepszymi wynikami urządzeniami dopplerowskimi typu ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) umieszczonymi na jednostkach pływających. Do metod powierzchnia–prędkość zalicza się też pomiar pływakowy, ale ze względu na małą dokładność nie jest on zalecany (pomija wpływ szorstkości dna koryta).



Ryc. 6.12.6. Urządzenia do terminowego/wyrywkowego pomiaru natężenia przepływu metodą powierzchnia–prędkość: klasyczny młynek hydrometryczny z propellerem (A), elektromagnetyczny młynek hydrometryczny (B) oraz ADC – Acoustic Digital Current Meter (C) (Boiten 2003, Morgenschweis 2010)

W profilach wodowskazowych na niewielkich rzekach, gdzie prędkości przepływu wody są nieduże oraz tam, gdzie pomiar metodą powierzchnia–prędkość jest utrudniony (wartki nurt, obecność roślinności zanurzonej), przy stabilnym materiale dna koryta można zainstalować przelew pomiarowy. Pomiar przepływu przelewem należy do metod stan–przepływ, kiedy to relacja między stanem wody a natężeniem przepływu jest na stałe określona w postaci zależności matematycznej (Boiten 2003). Pomiar stanu wody przy przelewie w trybie ciągłym (limnimetr) oznacza jednoczesny pomiar natężenia przepływu. W zależności od lokalnych warunków można zainstalować przelew o ostrej krawędzi, o kształcie praktycznym lub szerokiej koronie. Przelewy o ostrej krawędzi stosuje się na rzekach niewielkich (ryc. 6.12.7), natomiast na rzekach o większym przepływie bardziej przydatne są przelewy o szerokiej koronie (ryc. 6.12.8) (Morgenschweis 2010). Ze względu na kształt wycięcia stosuje się przelewy prostokątne, trójkątne, trapezowe i półokrągłe. Pierwsze dwa są najczęściej spotykane na niewielkich ciekach. Dopóki przelew nie jest zatopiony, na przepływ wpływa stan wody górnej (dopływ) i tylko powyżej przelewu trzeba mierzyć stan wody. W przypadku

przelewów zatopionych stan wody powinien być mierzony od strony wody górnej i dolnej (niezbędne są dwa wodowskazy i/lub limnimetry). Wszystkie przelewy powinny być projektowane i wykonywane w sposób umożliwiający jednoznaczną identyfikację ich parametrów, które są niezbędne do wyprowadzenia matematycznej zależności między wartościami stanu wody i przepływu.

Ryc. 6.12.7. Trójkątny przelew o wąskich ściankach z korytem Venturiego (Musy, Higy 2011)

Ryc. 6.12.8. Trapezowaty przelew o szerokiej koronie (Boiten 2003)

Ciągłe pomiary stanów wody przy przelewach pomiarowych, których wyniki wprost przekładają się na wartości natężenia przepływu, są dużo bardziej

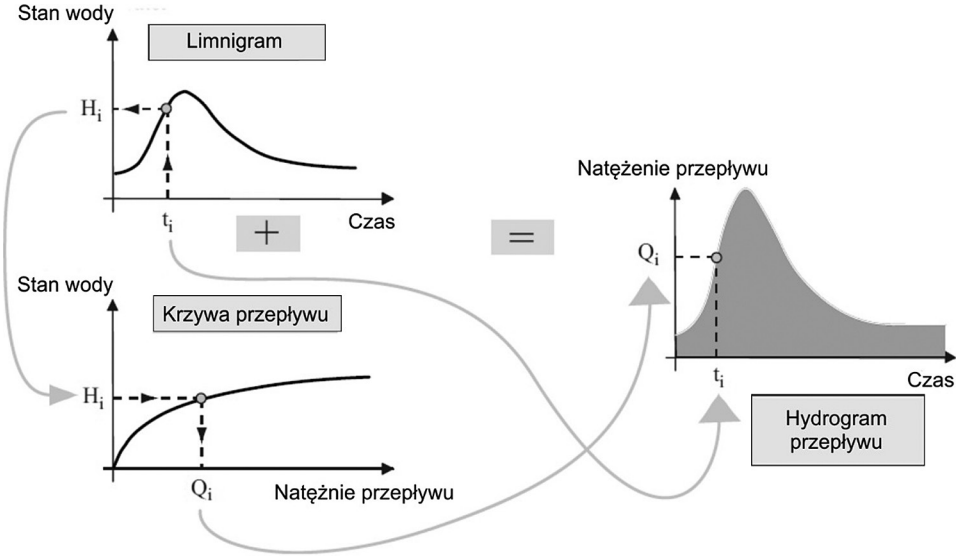
korzystne z perspektywy prowadzenia monitoringu hydrologicznego niż wyrywkowo prowadzone pomiary przepływu w profilu wyposażonym w limnimetr. Wyeliminowane zostają niedokładności pojawiające się przy aproksymacji krzywej przepływu. Inną metodą prowadzenia ciągłych pomiarów przepływu jest umocnienie pewnego odcinka (kilka metrów) koryta rzecznego lub jego zwężenie (np. tzw. zwężka Venturiego) i zainstalowanie w nim na stałe czujników elektromagnetycznych lub dopplerowskich (ADCP).

Dosyć istotny jest problem poboru prób wody z cieku w celu dokonania analiz chemicznych. Pobór prób w cyklu miesięcznym może odbywać się manualnie i nie wymaga instalacji dodatkowych urządzeń w profilu wodowskazowym. Gdyby w przyszłości zaistniała potrzeba poboru prób w kroku np. dobowym, to konieczne stanie się wyposażenie posterunków w próbniki (samplery), które pobierają automatycznie próby wody w zadanym kroku czasowym. Przy obecnym układzie programu podstawowego i rozszerzonego w zakresie wód powierzchniowych tego typu aparatura może być uznana za opcjonalną na Stacjach Bazowych.

6.12.3.3. Zasady pomiarów hydrometrycznych

Każda ze zlewni badawczych ma swoje indywidualne uwarunkowania, stąd trudno jest stosować identyczną metodykę pomiarów, np. nie w każdym profilu zamykającym można zainstalować przelew pomiarowy czy stabilny wodowskaz. Istotne jest jednak, by częstotliwość pomiarów stanów wody pozostawała identyczna we wszystkich zlewniach oraz by obliczenia natężenia i warstwy odpływu na podstawie obserwowanych stanów wody pozostawały na wysokim poziomie wiarygodności. Osiągnięcie tego celu wymaga utrzymania profilu pomiarowego w nienagannym stanie technicznym, co powinno podlegać regularnym kontrolom. Wydaje się, że priorytetem w tym względzie jest ocena funkcjonowania hydrologicznych profili pomiarowych pod kątem ewentualnych czynników zewnętrznych wpływających na wyniki pomiarów przepływu (np. melioracje, budowle hydrotechniczne, działalność bobrów, eksploatacja zasobów wodnych, zmiany poziomu zera wodowskazu itp.).

W profilu wodowskazowym opracowuje się zależność między stanem wody w korycie H a natężeniem przepływu Q. Zależność ta, przedstawiona w postaci graficznej, nazywana jest krzywą przepływu lub krzywą natężenia przepływu (ryc. 6.12.9). W przypadku braku ciągłych pomiarów natężenia przepływu wykonywanych za pomocą przelewu w profilu pomiarowym, krzywa przepływu umożliwia opracowanie hydrogramu przepływu na podstawie pomiarów stanów wody. Dla wygodniejszego korzystania z krzywej opracowuje się ją także w postaci tabelarycznej. Jest ona przede wszystkim używana do uzyskiwania wartości natężenia przepływu na podstawie pomiarów stanów wody w profilu wodowskazowym. Opracowuje się ją na podstawie szeregu pomiarów natężenia przepływu w profilu wodowskazowym przy różnym stanie napełnienia koryta rzecznego. Jej wiarygodność jest tym większa, im większą liczbę pomiarów przy maksymalnie zróżnicowanych warunkach odpływu wykorzystano do jej opracowania. Ze względu na niejednorodną naturę związku między stanem wody a natężeniem przepływu przy różnych stanach wody (woda w korycie i stany wody przekraczające stan



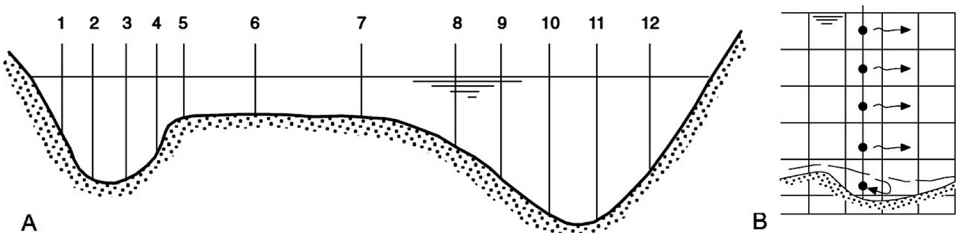
Ryc. 6.12.9. Powiązanie między limnigramem, krzywą przepływu a hydrogramem przepływu (Musy, Higy 2011)

pełnokorytowy) oraz pojawiającymi się przypadkami histerezy, bardzo często nie jest możliwe wykreślenie krzywej opisywanej jednym równaniem w całym zakresie wahań stanów wody w profilu wodowskazowym. Nie zaleca się zatem stosowania arkuszy kalkulacyjnych jako podstawowych narzędzi do konstrukcji krzywej przepływu. Ważność krzywej ograniczona jest do dat wyznaczających pierwszy i ostatni pomiar natężenia przepływu, który został wykorzystany do jej opracowania. Stąd wynika konieczność ustawicznej aktualizacji krzywej. Informacje na temat metod konstrukcji krzywej przepływu można znaleźć w opracowaniu Bajkiewicz-Grabowskiej i in. (1993). Bez względu na przyjętą metodę, podstawę stanowią wiarygodne wyniki pomiarów stanów wody i natężenia przepływu.

Jeżeli w profilu wodowskazowym pomiaru stanów wody w korycie dokonuje się wyłącznie na łacie, należy wykonać je trzy razy na dobę o: 6:00, 12:00 i 18:00 UTC. Następnie należy wyznaczyć odpowiadające zmierzonym wartościom stanów wody w korycie wartości przepływu według obowiązującej krzywej przepływu. Średni dobowy stan wody jest średnią arytmetyczną odczytanych wartości terminowych. Z kolei średni dobowy przepływ jest średnią arytmetyczną trzech uzyskanych terminowych wartości przepływów (patrz podrozdz. 6.12.3.6). W przypadku słabej dostępności profilu pomiarowego odczytu stanu wody należy dokonywać raz na dobę o godz. 6:00 UTC i wartość ta zostaje uznana za średnią dobową. Z krzywej przepływu należy odczytać odpowiadający jej przepływ, który zostaje uznany za średni dobowy. Najbardziej wiarygodnych danych dostarczają profile wyposażone w urządzenia do ciągłej rejestracji stanów wody (limnimetr lub limnimetr z przelewem pomiarowym). Z pamięci limnimetru należy pozyskać godzinowe wartości stanów wody w korycie, sporządzić limnigram i następnie wyznaczyć według obowiązującej krzywej przepływu godzinowe wartości

natężenia przepływu. Średni dobowy stan wody i przepływ oblicza się jako wartość średnią arytmetyczną z wartości godzinowych (patrz podrozdz. 6.12.3.6). Co więcej, każdej doby pomiarowej o godz. 6:00 UTC powinno się odczytać stan wody na łacie wodowskazowej w celu prowadzenia bieżącej kontroli poprawności zapisów limnigraficznych (tzw. reper kontrolny). Producenci sprzętu pomiarowego deklarują obecnie typową dokładność automatycznych odczytów stanów wody na poziomie nawet ±0,5 cm. Należy dążyć do zainstalowania w profilu wodowskazowym urządzeń o możliwie największej dokładności pomiaru. Ze względu na założoną jednostkę pomiarową stanów wody w systemie baz danych ZMŚP wynoszącą 1 cm proponuje się docelowe stosowanie sprzętu pomiarowego o dokładności nie mniejszej niż ±1,0 cm. Prowadzenie pomiarów automatycznych pozwala na pozyskiwanie odczytów stanów wody w znacznie krótszym kroku czasowym niż miało to miejsce na początku pomiarów w sieci ZMŚP, ale nie zwalnia z konieczności wykonywania codziennych obserwacji zjawisk lodowych czy zarastania. Absolutnie nie należy przez dłuższy czas pozostawiać urządzeń do pomiarów automatycznych bez nadzoru.

W sytuacji braku przelewu w profilu pomiarowym należy wyrywkowo/terminowo prowadzić pomiary natężenia przepływu, których wyniki zostaną wykorzystane do opracowania i aktualizacji krzywej przepływu. Wymienione wcześniej urządzenia pomiarowe, takie jak młynek hydrometryczny, młynek elektromagnetyczny oraz ADC i ADCP, wykorzystuje się do oceny pionowego zróżnicowania prędkości przepływu wody w wyznaczonych w różnych odstępach, w zależności od morfometrii koryta, pionach hydrometrycznych w profilu wodowskazowym (ryc. 6.12.10). Odległość między pionami sondowania profilu poprzecznego rzeki przyjmuje się zwykle jako 1/20–1/30 jej szerokości. Jest ona jednak uwarunkowana charakterem koryta. Liczba pomiarów na różnych głębokościach pionu hydrometrycznego zależna jest od jego całkowitej głębokości. Najczęściej przyjmuje się, że bez zarastania i pokrywy lodowej wynosi ona 1 (przy głębokości do 20 cm), 3 (przy głębokości od 20 do 60 cm) lub 5 (przy głębokości powyżej 60 cm). Instrukcje na temat lokalizowania pionów hydrometrycznych oraz doboru głębokości pomiarów w zależności od morfometrii profilu wodowskazowego można znaleźć w opracowaniach Bajkiewicz-Grabowskiej i in. (1993), Boitena (2003), Morgenschweisa (2010) czy wewnętrznych opracowaniach IMGW-PIB.



Ryc. 6.12.10. Przykładowy rozkład pionów hydrometrycznych w profilu koryta rzecznego o nieregularnym kształcie (A) oraz rozkład punktów pomiaru prędkości przepływu w pionie hydrometrycznym (B) (Boiten 2003)

Awaria urządzeń pomiarowych w profilu wodowskazowym może spowodować konieczność wykonywania pomiarów przepływu innymi metodami. Jednak wyniki pomiarów metodą pływakową czy znacznikową nie powinny być brane pod uwagę w konstrukcji krzywej przepływu, ponieważ ich dokładność dosyć znacznie odbiega od tej reprezentowanej przez stosowanie instrumentów typu ADC czy ADCP.

W przypadku pojawienia się w korycie cieku zarastania w sezonie letnim i/lub zjawisk lodowych w sezonie zimowym oprócz średniej wartości stanu wody należy zanotować obserwację dotyczącą fazy procesu zarastania lub zlodzenia. O ile fazę zlodzenia należy w sezonie zimowym oceniać codziennie, to stopień zarastania koryta można opisywać w cyklu tygodniowym. W sezonie zimowym, kiedy występują zjawiska lodowe na rzekach, wyznaczając wartości przepływu na podstawie odczytu stanu wody na łacie wodowskazowej, należy zastosować poprawki, zwane współczynnikami redukcji zimowej. Wartość odczytanego przepływu należy pomnożyć przez współczynnik właściwy danej formie zlodzenia. Współczynniki wyznacza się na podstawie pomiarów przepływu dokonanych w czasie trwania zjawisk lodowych i ich wartości są przypisane do konkretnego profilu wodowskazowego i konkretnego roku hydrologicznego. Procedurę tę powtarza się zatem w każdym roku hydrologicznym. W sytuacji braku pomiarów przepływu wykonanych w czasie trwania zjawisk lodowych stosuje się metodę standardowych współczynników redukcji zimowej. Każdorazowy odczyt przepływu z krzywej jest korygowany według wzoru:

$$Q_z = K_z \cdot Q_r$$

Q_z – natężenie przepływu w warunkach występowania zjawisk lodowych [$m^3 \cdot s^{-1}$],
Q_r – wartość natężenia przepływu przy tym samym stanie wody odczytana z krzywej przepływu obowiązującej w warunkach ruchu swobodnego (bez zlodzenia) [$m^3 \cdot s^{-1}$],
K_z – współczynnik redukcji zimowej zależny od fazy zlodzenia według tabeli 6.12.3.

Tabela 6.12.3. Zestawienie współczynników korekcji zimowej stosowanych do wyznaczania wartości natężenia przepływu na podstawie krzywej przepływu i pomierzonych stanów wody

Wartość współczynnika korekcji zimowej Kz [–]	Faza zlodzenia
1,00	Brak zlodzenia
0,75	Śryż i częściowe zlodzenie (lód brzegowy)
0,50	Trwała pokrywa lodowa (zlodzenie całkowite)
0,00	Profil wodowskazowy zamarznięty do dna
0,85	Spływ kry

W profilach wodowskazowych wyposażonych w przelewy pomiarowe stosuje się opisane powyżej zasady pomiarów stanów wody w zależności od zainstalowanych urządzeń (tylko łata, łata i limnimetr). Zależność między stanami wody

a przepływami nie jest opisywana przez krzywą przepływu, ale przez formułę matematyczną właściwą dla danego typu przelewu (kształt korony, kształt wycięcia, zatopienie).

Jeżeli dochodzi do stwierdzenia trwałych zmian przekroju poprzecznego rzeki, poziomu odniesienia stanów wody czy warunków odpływu powstałych na skutek zjawisk ekstremalnych (powodzie), zjawisk lodowych, prac hydrotechnicznych, działalności bobrów czy procesów erozyjnych i akumulacyjnych, konieczna jest korekta dotychczasowej krzywej przepływu i jej dostosowanie do aktualnych warunków w korycie rzeki. W żadnym wypadku profil wodowskazowy nie powinien znajdować się w zasięgu cofki lub w miejscu, gdzie stany wody i natężenie przepływu pozostają pod wpływem urządzeń piętrzących czy spiętrzeń naturalnych zlokalizowanych w górę cieku. W tym kontekście nieodzowna jest stała kontrola warunków przepływu w korycie rzecznym, szczególnie pod kątem czynników utrudniających odpływ wody, np. zarastania, zlodzenia, powstawania cofki oraz stanu technicznego wyposażenia profilu wodowskazowego. Zaleca się z tego względu coroczną (najlepiej po zakończeniu sezonu zimowego) kontrolę położenia zera wodowskazu w postaci niwelacji od najbliższego repera geodezyjnego. Szczegółowe informacje zarówno o korekcie krzywej przepływu, jak i metodach bezpośrednich i pośrednich pomiaru przepływu zawarte są w pracach Bajkiewicz-Grabowskiej i in. (1993) oraz Byczkowskiego (1999).

6.12.3.4. Zasady pobierania próbek wód rzecznych

Pobór prób wody rzecznej w celu dokonania analizy chemicznej musi podlegać jasnym zasadom w celu zapewnienia reprezentatywności uzyskanych wyników. Jak już wspomniano, optymalnym miejscem poboru prób (ręcznie lub w sposób zautomatyzowany) jest profil wodowskazowy stanowiący zamknięcie zlewni badawczej. Pozyskane wówczas wartości przepływu i charakterystyki chemiczne wody można bez żadnych wątpliwości powiązać i analizować. Należy pamiętać, że zmienność warunków zasilania koryta rzecznego, która wpływa na wielkość przepływu i skład chemiczny wód, może być znaczna na niewielkiej nawet odległości. Stąd konieczna jest w tym przypadku szczególna staranność i precyzja, eliminująca wszelkiego rodzaju założenia stabilności warunków hydrologicznych i geochemicznych na większych obszarach zlewni. Podstawowe zasady poboru prób wody są następujące:

- stanowisko poboru próbek do analiz właściwości fizyczno-chemicznych zlokalizowane powinno być w sąsiedztwie przelewu/profilu wodowskazowego; unikać należy możliwości zanieczyszczenia próbki materiałami konstrukcyjnymi profilu pomiarowego (np. przelewu); w przypadku braku przelewu próbki pobierane są batometrem w nurcie, w połowie głębokości cieku; w płytkich ciekach, gdzie użycie batometru jest niemożliwe, należy próbkę pobrać wprost do butelki w sposób minimalizujący ryzyko jej zanieczyszczenia;
- wodę z cieków pobiera się co najmniej raz w miesiącu; wyższa frekwencja podnosi znacznie precyzję obliczeń bilansowych; pobór próbek powinien następować w terminie realizacji badań w ramach pozostałych podprogramów;

- na wzrost dokładności ma również wpływ zastosowanie zmiennej częstotliwości poboru próbek, zależnie od wielkości przepływu (częściej przy wezbraniach i stanach wysokich, rzadziej przy długotrwałych niżówkach);
- w okresach suszy, kiedy w korycie rzeki występują tylko kałuże i obserwuje się brak przepływu wody – pobór próbek do dalszych analiz chemicznych nie jest wykonywany;
- osobne próbki do analiz metali śladowych pobiera się do pojemników mytych roztworami kwasu; natychmiast po pobraniu należy je utrwalić; zalecane jest także ich niezwłoczne przesączenie;
- próbki przeznaczone do oznaczania rozpuszczonego węgla organicznego transportuje się i przechowuje w szklanych butelkach;
- butelki przed użyciem przemywać należy wodą dejonizowaną; pozostały sprzęt kilka dni przed użyciem płukać trzeba w rozcieńczonym kwasie (najlepiej w 1M roztworze kwasu azotowego lub solnego), a następnie przechowywać w workach z obojętnego tworzywa;
- przed pobraniem próbki butelkę należy trzykrotnie przepłukać wodą z cieku;
- pomiar odczynu, przewodności elektrolitycznej właściwej i tlenu rozpuszczonego należy wykonać przed przesączeniem próby – najlepiej w terenie;
- zalecane jest, aby praktycznie wszystkie próbki zostały przesączone; ze względu na fakt, że przesączanie może wpływać na wynik niektórych analiz, procedurę tę można pominąć w przypadku czystych bezbarwnych naturalnych wód powierzchniowych; należy pamiętać, że przesączanie jest elementem procedury analitycznej w niektórych oznaczeniach (rozpuszczony węgiel organiczny); stosować należy sączki membranowe o średnicy por 0,40–0,45 μm, które przed użyciem powinny być przemyte dejonizowaną wodą;
- czas transportu i przechowywania powinien być w miarę możliwości skrócony do minimum; w przypadku niektórych oznaczeń, na które wpływ ma czas przechowywania próbki, np. zasadowości czy też form azotu i fosforu, maksymalny okres między poborem próbek a analizami laboratoryjnymi nie powinien przekroczyć 24 godz.; aby uniknąć zmian chemicznych związanych z aktywnością mikroorganizmów i zanieczyszczeniami, butelki z próbkami transportuje się w torbach z tworzywa chroniących od światła słonecznego i w miarę możliwości w izotermicznych pojemnikach; do czasu rozpoczęcia analiz butelki przechowuje się bez dostępu światła w temperaturze 4°C.

Zbiór powyższych zasad nie musi wyczerpywać wszystkich problemów w poszczególnych zlewniach badawczych. W sytuacjach trudnych należy zawsze konsultować się z ekspertem ds. realizacji programu H1.

6.12.3.5. Zalecane metody analityczne

W tabelach 6.12.4 i 6.12.5 zestawiono metody analityczne zalecane w analizach cech fizyczno-chemicznych wód rzecznych. W doborze metod podstawowych i alternatywnych wzorowano się na wytycznych opracowanych przez Witczaka i in. (2013). W tabelach zaznaczono konieczność dokonania niektórych oznaczeń w terenie, niezwłocznie po pobraniu próby wody. Oznaczenia prowadzone *in situ* wymagają pobrania dodatkowych objętości prób. Pomiary odczynu, prze-

wodności elektrolitycznej właściwej i stężenia tlenu rozpuszczonego nie mogą być wykonywane w próbach, które zostaną przekazane do laboratorium. Co więcej, do oznaczenia przewodności elektrolitycznej nie można używać próby, w której wcześniej oznaczano odczyn. Próby podczas pomiarów w terenie i podczas transportu do laboratorium nie powinny być eksponowane na działanie promieni słonecznych oraz produktów lotnych (chloroform, opary paliw, a nawet dym papierosowy). Zaleca się ich przechowywanie i transportowanie w czystym i chłodnym otoczeniu. Bardzo ważnym aspektem analiz cech fizyczno-chemicznych wody jest ich spójność metodyczna w poszczególnych programach realizowanych w ramach ZMŚP.

Tabela 6.12.4. Zalecane metody analiz chemicznych wody w przypadku zakresu obligatoryjnego prowadzonych oznaczeń w ramach programu H1

Parametr	Metoda podstawowa	Metoda alternatywna
Przewodność elektrolityczna właściwa	Elektrometryczna, konduktometryczna ze standaryzacją do temperatury +25°C (oznaczenie w terenie)	–
Odczyn (pH)	Potencjometryczna (oznaczenie w terenie)	–
Zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	Miareczkowanie wobec fenoloftaleiny oraz oranżu metylowego	Miareczkowanie potencjometryczne
Sód Na	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową
Potas K	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową
Wapń Ca	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową, Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS)
Magnez Mg	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) Chromatografia jonowa (IC)
Azot azotanowy N-NO_3	Chromatografia jonowa (IC)	Spektrofotometria Przepływowa CFA/FIA z detekcją spektrofotometryczną
Azot amonowy N-NH_4	Spektrofotometria	Przepływowa CFA/FIA z detekcją spektrofotometryczną

Parametr	Metoda podstawowa	Metoda alternatywna
Siarka siarczanowa S-SO4	Chromatografia jonowa (IC)	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES) Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS)
Chlorki Cl	Chromatografia jonowa (IC)	Przepływowa CFA/FIA z detekcją fotometryczną lub potencjometryczną
Fosfor ogólny $P_{ogól.}$	Spektrofotometria	Przepływowa CFA/FIA z detekcją spektrofotometryczną Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)
Tlen rozpuszczony O_2	Elektrochemiczna z zastosowaniem sondy tlenowej (oznaczenie w terenie)	Jodometryczna miareczkowa
BZT5	Elektrochemiczna z zastosowaniem sondy tlenowej	Jodometryczna miareczkowa
Zawiesina	Metoda wagowa, z filtracją przez sączki z włókna szklanego i prażeniem w temperaturze +105°C	Objętościowa w leju Imhoffa (tylko do zawiesin łatwo opadających)

Tabela 6.12.5. Zalecane metody analiz chemicznych wody w przypadku rozszerzonego zakresu prowadzonych oznaczeń w ramach programu H1

Parametr	Metoda podstawowa	Metoda alternatywna
Krzemionka SiO_2	Spektrofotometria	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)
Fosfor fosforanowy P-PO_4	Spektrofotometria	Przepływowa CFA/FIA z detekcją spektrofotometryczną Chromatografia jonowa (IC)
Rozpuszczony węgiel organiczny RWO	Spektroskopia w podczerwieni	Chromatografia gazowa
Kadm Cd	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS)
Miedź Cu	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS)

Parametr	Metoda podstawowa	Metoda alternatywna
Ołów Pb	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową
Mangan Mn	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową
Cynk Zn	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową
Nikiel Ni	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową
Arsen As	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS)	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES) Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową Spektrofotometria
Żelazo Fe	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS)
Chrom Cr	Spektrofotometria Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Atomowa spektrometria absorpcyjna (AAS) Chromatografia jonowa (IC)
Glin Al	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową

6.12.3.6. Metody obliczeń parametrów hydrologicznych

Realizacja programu H1 (Wody powierzchniowe – rzeki) wymaga staranności w przeliczaniu danych pomiarowych. Większość parametrów hydrologicznych oblicza się tylko na podstawie dwóch zmiennych, tzn. dobowej (terminowej lub

godzinowej) wartości stanu wody i natężenia przepływu w profilu zamykającym. Ich chronologiczne ciągi w układzie roku hydrologicznego są punktem wyjścia do oceny obiegu wody w zlewni badawczej. Na etapie analizy zasilania i odpływu konieczne jest jeszcze wykorzystanie danych opadowych (chronologiczne ciągi sum dobowych w układzie roku hydrologicznego), pozyskanych w ramach programu A1 – Meteorologia. Poniżej zestawiono podstawowe algorytmy obliczeń parametrów hydrologicznych.

1. Średnie dobowe stany wody

W przypadku trzech pomiarów stanów wody w korycie (w terminach 6:00, 12:00 i 18:00 UTC) wartość średnia dobowa stanu wody $H_{śr}$ jest obliczana na podstawie wzoru:

$$H_{śr} = \frac{H_{06} + H_{12} + H_{18}}{3} \text{ [cm]}$$

$H_{śr}$ – średnia dobowa wartość stanu wody w korycie cieku [cm],
H_{06}, H_{12}, H_{18} – wartości stanów wody w korycie odczytane w terminach, odpowiednio 6:00, 12:00 i 18:00 UTC [cm].

Jeżeli prowadzona jest ciągła rejestracja stanów wody w korycie (limnigrafem lub limnimetrem), średni dobowy stan wody $H_{śr}$ obliczany jest następująco:

$$H_{śr} = \frac{\sum_{i=1}^{24} H_i}{24} \text{ [cm]}$$

$H_{śr}$ – średnia dobowa wartość stanu wody w korycie cieku [cm],
H_i – stany wody zanotowane w kolejnych godzinach doby od $i = 1$ do $i = 24$ [cm].

2. Stany wody charakterystyczne główne I stopnia

Do stanów wody charakterystycznych głównych I stopnia zalicza się stany ekstremalne okresowe: maksymalny (WW) i minimalny (NW) stan średni dobowy w rozpatrywanym okresie (np. rok hydrologiczny) oraz stan średni (SW) obliczany według formuły:

$$\text{SW} = \frac{\sum_{i=1}^{n} H_{śri}}{n} \text{ [cm]}$$

SW – średni stan wody w okresie [cm],
$H_{śri}$ – stan wody średni dobowy [cm],
n – liczba dni w rozpatrywanym okresie.

Na podstawie stanów wody charakterystycznych głównych I stopnia oblicza się amplitudę względną stanów wody według poniższej formuły:

$$\text{A}_{\text{wW}} = \frac{(\text{WW} - \text{NW})}{\text{SW}} \text{ [–]}$$

3. Stany wody główne II stopnia określa się na podstawie zbiorowości stanów wody głównych I stopnia z wielolecia:

- stany wody ekstremalne – maksymalne (WWW, WSW i WNW) oraz minimalne (NWW, NSW i NNW) stanowią największe i najmniejsze wartości ze zbiorów odpowiednich stanów głównych I stopnia (WW, SW i NW);
- stany wody średnie (SWW, SSW i SNW) określa się na podstawie następujących formuł:

$$\mathrm{SWW} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mathrm{WW}_i}{n} \text{ [cm]}$$

$$\mathrm{SNW} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mathrm{NW}_i}{n} \text{ [cm]}$$

n – liczba elementów w rozpatrywanej zbiorowości głównych stanów wody I stopnia.

Wartość SSW należy obliczyć jako średnią arytmetyczną średnich dobowych stanów wody z całego wielolecia według wzoru:

$$\mathrm{SSW} = \frac{\sum_{i=1}^{n} H_{\acute{s}ri}}{n} \text{ [cm]}$$

$H_{\text{śri}}$ – stan wody średni dobowy [cm],
n – liczba dni w rozpatrywanym okresie (wieloleciu).

Wykorzystując stany wody charakterystyczne II stopnia, można obliczyć graniczne wartości stanów wody odpowiadające poszczególnym kategoriom wezbrań i niżówek:
– wezbrania wielkie – $H \geq \mathrm{SWQ}$,
– wezbrania zwykłe – $\mathrm{SWQ} \geq H \geq \mathrm{NWQ}$,
– wezbrania małe – $\mathrm{NWQ} \geq H \geq 1/2 \cdot (\mathrm{NWQ} + \mathrm{WSQ})$,
– niżówki płytkie – $\mathrm{SNQ} \leq H \leq 1/2 \cdot (\mathrm{NSQ} + \mathrm{WNQ})$,
– niżówki głębokie – $H \leq \mathrm{SNQ}$,
– gdzie: $1/2 \cdot (\mathrm{NWQ} + \mathrm{WSQ})$ – dolna granica strefy stanów wysokich, $1/2 \cdot (\mathrm{NSQ} + \mathrm{WNQ})$ – górna granica strefy stanów niskich.

4. Średnie dobowe przepływy

Każdy odczytany bądź zarejestrowany automatycznie stan wody w korycie posiada odpowiadającą mu wartość przepływu. Wartości te uzyskuje się z aktualnej krzywej przepływu. W przypadku trzech pomiarów stanu wody w profilu wodowskazowym (w terminach 6:00, 12:00 i 18:00 UTC) jego wartości są zamieniane na przepływy według aktualnej krzywej przepływu, a średni przepływ dobowy obliczany jest na podstawie formuły:

$$Q_{śr} = \frac{Q_{06} + Q_{12} + Q_{18}}{3} \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$$

$Q_{śr}$ – średnia dobowa wartość przepływu [$m^3 \cdot s^{-1}$],
Q_{06}, Q_{12}, Q_{18} – wartości przepływu w korycie obliczone na podstawie stanów wody odczytanych w terminach, odpowiednio 6:00, 12:00 i 18:00 UTC [$m^3 \cdot s^{-1}$].

Jeżeli prowadzona jest ciągła rejestracja stanów wody w korycie (limnigrafem lub limnimetrem), średni dobowy przepływ $Q_{śr}$ obliczany jest następująco:

$$Q_{śr} = \frac{\sum_{i=1}^{24} Q_i}{24} \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$$

$Q_{śr}$ – średnia dobowa wartość przepływu w korycie cieku [$m^3 \cdot s^{-1}$],
Q_i – przepływy uzyskane na podstawie stanów wody zanotowanych w kolejnych godzinach doby od $i = 1$ do $i = 24$ [$m^3 \cdot s^{-1}$].

5. Przepływy charakterystyczne główne I stopnia

Do przepływów charakterystycznych głównych I stopnia zalicza się przepływy ekstremalne okresowe: maksymalny (WQ) i minimalny (NQ) przepływ średni dobowy w rozpatrywanym okresie (np. rok hydrologiczny) oraz przepływ średni (SQ) obliczany według formuły:

$$\text{SQ} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_{śri}}{n} \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$$

SQ – średni przepływ w okresie [$m^3 \cdot s^{-1}$],
$Q_{śri}$ – przepływ średni dobowy [$m^3 \cdot s^{-1}$],
n – liczba dni w rozpatrywanym okresie.

Na podstawie przepływów charakterystycznych głównych I stopnia oblicza się amplitudę względną przepływów według poniższej formuły:

$$\text{A}_{\text{wQ}} = \frac{(\text{WQ} - \text{NQ})}{\text{SQ}} \text{ [–]}$$

6. Przepływy główne II stopnia określa się na podstawie zbiorowości przepływów głównych I stopnia z wielolecia (całego okresu obserwacji):

- przepływy ekstremalne – maksymalne (WWQ, WSQ i WNQ) oraz minimalne (NWQ, NSQ i NNQ) stanowią największe i najmniejsze wartości ze zbiorów odpowiednich przepływów głównych I stopnia (WQ, SQ i NQ);
- przepływy średnie (SWQ, SSQ i SNQ) określa się na podstawie następujących formuł:

$$SWQ = \frac{\sum_{i=1}^{n} WQ_i}{n} \; [m^3 \cdot s^{-1}]$$

$$SNQ = \frac{\sum_{i=1}^{n} NQ_i}{n} \; [m^3 \cdot s^{-1}]$$

n – liczba elementów w rozpatrywanej zbiorowości głównych przepływów I stopnia.

Wartość SSQ należy obliczyć jako średnią arytmetyczną średnich dobowych przepływów z całego wielolecia (okresu obserwacji) według wzoru:

$$SSQ = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_{śri}}{n} \; [m^3 \cdot s^{-1}]$$

$Q_{śri}$ – przepływ średni dobowy $[m^3 \cdot s^{-1}]$,
n – liczba dni w rozpatrywanym okresie (wieloleciu).

Wykorzystując przepływy charakterystyczne II stopnia, można obliczyć graniczne wartości przepływów odpowiadające poszczególnym kategoriom wezbrań i niżówek:

- wezbrania wielkie – $H \geq SWQ$,
- wezbrania zwykłe – $SWQ \geq H \geq NWQ$,
- wezbrania małe – $NWQ \geq H \geq 1/2 \cdot (NWQ + WSQ)$,
- niżówki płytkie – $SNQ \leq H \leq 1/2 \cdot (NSQ + WNQ)$,
- niżówki głębokie – $H \leq SNQ$,
- gdzie: $1/2 \cdot (NWQ + WSQ)$ – dolna granica strefy stanów wysokich, $1/2 \cdot (NSQ + WNQ)$ – górna granica strefy stanów niskich.

Obliczenie granic wezbrań i niżówek na podstawie charakterystycznych przepływów jest szczególnie wskazane w profilach pomiarowych wyposażonych w przelewy, gdzie pomiary stanów wody stanowią element pomocniczy do wyznaczenia przepływów chwilowych poprzez określenie wysokości piętrzenia.

W przypadku niektórych zlewni badawczych, gdzie ze względów technicznych nie jest możliwe ustanowienie profili pomiarowych, np. w miejscach zamknięcia zlewni (niestabilne utwory powierzchniowe, trudna dostępność), może pojawić się konieczność rekonstrukcji ciągów zmiennych hydrologicznych w profilach niekontrolowanych na podstawie obserwacji w profilach kontrolowanych. Tego typu operacja wymaga przyjęcia pewnych założeń i nie jest pozbawiona źródeł potencjalnych błędów. Możliwe jest zastosowanie instrukcji postępowania za Ozgą-Zielińską i Brzezińskim (1994) odnoszącej się do przenoszenia wartości natężenia przepływu. W pierwszym kroku sprawdzeniu poddaje się powierzchnię zlewni kontrolowanej oraz powierzchnię zlewni zamykanej przez profil niekontrolowany. Aby możliwe było przeniesienie wyników pomiarów hydrologicznych w dół kontrolowanego profilu wodowskazowego, musi być spełniony warunek:

$$A_x \leq 1{,}5A_w$$

A_x – powierzchnia zlewni zamykana przez profil niekontrolowany
A_w – powierzchnia zlewni zamykana przez profil obserwowany

Jeżeli powyższy warunek jest spełniony, to kolejną kwestią jest przyjęcie wartości współczynnika przeliczeniowego. Zakłada się zazwyczaj, że przepływ rzeki przyrasta w dół jej biegu wprost proporcjonalnie do przyrostu powierzchni jej zlewni. W związku z tym przeliczenia dokonuje się na podstawie formuły:

$$Q_x = Q_w \left(\frac{A_x}{A_w}\right)^n$$

Q_x – przepływ w profilu niekontrolowanym,
Q_w – przepływ w profilu obserwowanym,
n – wskaźnik redukcji przepływu maksymalnego, który w przypadku przepływów niskich i średnich wynosi 1, natomiast w przypadku przepływów maksymalnych wynosi 2/3.

Zgodnie z powyższym wzorem, zastosowanie wskaźnika redukcyjnego powoduje, że przeliczenia przepływów maksymalnych dokonuje się nieco inaczej niż przepływów niskich i średnich. Wynika to z założenia, że przepływom maksymalnym towarzyszy przekroczenie brzegowego stanu wody i rozlanie się wód rzecznych poza koryto. W takiej sytuacji przyjęte założenie wprost proporcjonalnego przyrostu powierzchni zlewni i przepływu nie jest spełnione, bo wskutek zmiany warunków (np. inna szorstkość koryta i równiny zalewowej) jego przyrost się zmniejsza. Ta okoliczność implikuje konieczność wyznaczenia stref stanów/przepływów w profilu kontrolowanym.

Przytoczony sposób przenoszenia informacji hydrologicznej ma swoje ograniczenia. Stosuje się go tylko w stosunku do przepływów głównych (charakterystycznych) I i II stopnia. Nie jest zalecane odtwarzanie w ten sposób ciągów wartości chwilowych. Oznacza to, że nie powinno się opracowywać tą metodą ciągów wartości dobowych czy godzinowych. Do tego celu potrzebny jest przynajmniej jeszcze jeden posterunek wodowskazowy zlokalizowany w zlewni badawczej i określone na podstawie prowadzonych tam obserwacji dokładne zależności regresyjne. Co więcej, przenosić wówczas można nie tylko dane dotyczące przepływu, ale również stanów wody.

7. Odpływ jednostkowy

Odpływ jednostkowy q jest miarą odpływu ze zlewni, opisującą odpływ wody w jednostce czasu z jednostki powierzchni zlewni i wyrażaną w $dm^{-3} \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$. Obliczenia odpływu jednostkowego dokonuje się z uwzględnieniem średniego przepływu w danym okresie (doba, miesiąc, rok) na podstawie formuły:

$$q = \frac{1000Q}{A} \; [dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}]$$

Q – średni przepływ w zadanym przedziale czasu (np. doba, miesiąc, rok) $[m^3 \cdot s^{-1}]$,
A – powierzchnia zlewni $[km^2]$.

W przypadku zlewni różnicowych średnia wartość przepływu powinna stanowić różnicę między średnimi wartościami przepływu w profilu zamykającym zlewnię oraz w profilu kontrolującym dopływ do zlewni w zadanym przedziale czasu (np. doba, miesiąc, rok):

$$Q = Q_O - Q_d \ [m^3 \cdot s^{-1}]$$

Q_o – średnie natężenie przepływu na odpływie ze zlewni różnicowej w zadanym przedziale czasu [$m^3 \cdot s^{-1}$],
Q_d – natężenie przepływu na dopływie do zlewni w zadanym przedziale czasu [$m^3 \cdot s^{-1}$].

Należy pamiętać, że w niektórych sytuacjach hydrologicznych dopływ rzeczny do zlewni różnicowej może być większy niż odpływ. Będzie to oznaczało, że zlewnia różnicowa retencjonuje wodę lub nie zostały dokładnie oznaczone i nie są kontrolowane wszystkie drogi odpływu ze zlewni (np. odpływ podziemny). W konsekwencji odpływ jednostkowy ze zlewni może być równy 0 lub oszacowany nawet jako ujemny.

8. Warstwa odpływu

Warstwa odpływu jest ilorazem objętości odpływu oraz powierzchni zlewni i jest wyrażana w mm warstwy wody. Jest to miara odpływu, która dzięki jednostce, w jakiej jest wyrażana, może być porównywana z sumą opadu atmosferycznego na powierzchni zlewni, np. w formie współczynnika odpływu. Stanowi także obok np. sumy opadu, parowania i różnicy retencji element równania bilansu wodnego. Warstwę odpływu oblicza się na podstawie następującego wzoru:

$$O = \frac{Q \cdot t \cdot 10^{-3}}{A} \ [mm]$$

lub

$$O = q \cdot t \cdot 10^{-6} \ [mm]$$

O – warstwa odpływu [mm] (najczęściej warstwę odpływu oznacza się symbolem H, ale w niniejszym opracowaniu zastosowano symbol O, aby nie mylił się on z symbolem oznaczającym stan wody w korycie cieku),
Q – średni przepływ w zadanym przedziale czasu (np. doba, miesiąc, rok) [$m^3 \cdot s^{-1}$],
t – liczba sekund w zadanym przedziale czasu,
A – powierzchnia zlewni [km^2],
q – odpływ jednostkowy w zadanym przedziale czasu (np. doba, miesiąc, rok) [$dm^{-3} \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$].

W zlewniach różnicowych średni przepływ wyznacza się identycznie jak w przypadku obliczeń odpływu jednostkowego, tzn. obliczając różnicę między przepływem w profilu zamykającym a przepływem w profilu początkowym zlewni:

$$Q = Q_O - Q_d \ [m^3 \cdot s^{-1}]$$

Q_o – średnie natężenie przepływu na odpływie ze zlewni różnicowej w zadanym przedziale czasu [$m^3 \cdot s^{-1}$],
Q_d – natężenie przepływu na dopływie do zlewni w zadanym przedziale czasu [$m^3 \cdot s^{-1}$].

Można również spotkać się z sytuacją dopływu, który przewyższa odpływ (brak warstwy odpływu ze zlewni w danym kroku czasowym czy wręcz wartość ujemna warstwy odpływu).

W pierwszej fazie oceny warstwy odpływu ze zlewni oblicza się jej dobowe wysokości. Poprawne postępowanie polega na sumowaniu wartości dobowych w miesięczne, te z kolei w półroczne i roczne. Obliczona w ten sposób warstwa odpływu jest poprawna, chociaż mogą pojawić się rozbieżności między wynikami sumowania wartości dobowych a obliczeniami prowadzonymi na danych rocznych, wynikające z zaokrąglania.

9. Współczynnik odpływu

Współczynnik odpływu α jest ilorazem warstw odpływu (O) i opadu (P). Wyrażany jest w procentach lub jako liczba niemianowana. Wartość współczynnika odpływu informuje, jaka część opadu odpłynęła ciekiem ze zlewni. Współczynnik odpływu w zadanym przedziale czasu (miesiąc, rok) jako wartość niemianowaną oblicza się następująco:

$$\alpha = \frac{O}{P} \; [-]$$

O – warstwa odpływu ze zlewni w zadanym przedziale czasu [mm],
P – warstwa opadu w zlewni w zadanym przedziale czasu [mm].

Oprócz niewielkich zlewni eksperymentalnych o znacznych wartościach spadku terenu, w których reakcja zlewni na opad jest bardzo szybka, nie praktykuje się obliczania współczynnika odpływu w przedziałach dobowych. Wydaje się to sensowne dopiero w przedziałach miesięcznych, półrocznych i rocznych ze względu na dłuższy niż dobowy i często zmienny w sezonach czas reakcji zlewni na opad atmosferyczny.

W przypadku zlewni różnicowych współczynnik odpływu odnosimy do obliczonej warstwy odpływu wynikającej z różnicy między przepływem w profilu zamykającym zlewnię a przepływem w profilu początkowym zlewni odniesionej do powierzchni zlewni różnicowej. W żadnym przypadku do obliczeń nie włącza się powierzchni zlewni powyżej profilu początkowego.

10. Współczynnik miesięczny przepływu

Podstawą oceny ustroju rzecznego w zlewni jest analiza zmienności przepływu w cyklu rocznym z uwzględnieniem danych z wielolecia (w tym przypadku całego okresu obserwacji). Wykorzystuje się w tym celu średnie miesięczne wartości przepływu z wielolecia oraz średnie roczne wartości odpływu z wielolecia (metoda M. Pardé) (Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski 2006). Średni przepływ j-tego miesiąca z wielolecia oblicza się następująco:

$$SQ_{mj} = \frac{\sum_{i=1}^{n} SQ_{ji}}{n} \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$$

SQ_{mj} – średni przepływ j-tego miesiąca w wieloleciu [$m^3 \cdot s^{-1}$],
SQ_{ji} – średni przepływ j-tego miesiąca w poszczególnych latach wielolecia od $i=1$ do n [$m^3 \cdot s^{-1}$],
n – liczba lat w wieloleciu.

Średni roczny przepływ z wielolecia uzyskuje się zgodnie ze wzorem:

$$SQ_r = \frac{\sum_{i=1}^{n} SQ_{ri}}{n} \text{ [m}^3\cdot\text{s}^{-1}\text{]}$$

SQ_r – średni przepływ roczny w wieloleciu [$m^3 \cdot s^{-1}$],
SQ_{ri} – średni przepływ roczny i-tego roku [$m^3 \cdot s^{-1}$],
n – liczba lat w wieloleciu.

Wartości miesięcznych współczynników przepływu obliczane są w sytuacji dysponowania przynajmniej 5-letnim ciągiem obserwacji hydrologicznych. Mogą być one wyrażane jako liczba niemianowana lub w procentach. W przypadku każdego miesiąca roku hydrologicznego współczynnik oblicza się według formuły (łącznie 12 wartości):

$$k_j = \frac{SQ_{mj}}{SQ_r} \text{ [–]}$$

k_j – współczynnik miesięczny przepływu j-tego miesiąca [–].

Wartość współczynnika przekraczająca 1 oznacza miesiąc z występującymi wezbraniami i przepływami powyżej wartości średniej rocznej. Wartość poniżej 1 oznacza miesiąc występowania przepływów niższych od średniej. Otrzymanych 12 wartości jest podstawą konstrukcji wykresu ilustrującego wieloletnie prawidłowości przebiegu zmienności przepływu w cyklu rocznym. Po każdym roku hydrologicznym wykres powinien być uzupełniany o nowe dane.

6.12.3.7. Metody obliczeń parametrów fizykochemicznych

Na podstawie obliczonych parametrów hydrologicznych (przepływy średnie i odpływy jednostkowe) oraz wyników analiz cech fizyczno-chemicznych wód rzecznych obliczane są parametry fizykochemiczne, które umożliwiają zestawienie bilansu obiegu materii w zlewni badawczej. Odpływ jako nośnik transportu jonów ze zlewni stanowi tło do obliczeń ładunków pierwiastków czy substancji opuszczających zlewnię.

1. W przypadku wód powierzchniowych **średnie wartości stężenia** badanych składników oraz średni odczyn i przewodność elektrolityczna właściwa wyrażane są jako średnie ważone. Średnią ważoną na przepływ wartość stężenia oblicza się według poniższej formuły:

$$\overline{X}_r = \frac{\sum_{i=1}^{n} (c_i \cdot Q_i)}{\sum_{i=1}^{n} Q_i} \text{ [jednostka stężenia]}$$

$\overline{X}_r$ – średnia ważona w stosunku do przepływu wartość stężenia [jednostka stężenia],
Q_i – przepływ w momencie poboru próbki [dm^{-3}·s^{-1}],
c_i – zmierzone w próbce stężenie [jednostka stężenia],
n – liczba próbek [–].

2. Ładunek substancji odpływających ciekiem (w kroku miesięcznym i rocznym):

a) Wartości roczne ładunków substancji rozpuszczonych odpływających w cieku obliczane na podstawie stężenia jonów i odpływu jednostkowego:

$$L_r = t \cdot 10^{-8} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n} (q_i \cdot C_i)}{\sum_{i=1}^{n} q_i} \cdot q_{śr} \text{ [kg·ha}^{-1}\text{·rok}^{-1}\text{]}$$

L_r – roczny ładunek substancji odpływający ciekiem [$kg·ha^{-1}·rok^{-1}$],
t – liczba sekund w roku hydrologicznym,
q_i – odpływ jednostkowy oznaczony w momencie pobrania próbek [$dm^{-3}·s^{-1}·km^{-2}$],
C_i – stężenie jonu (wartości dobowe, tygodniowe lub miesięczne) [$mg·dm^{-3}$],
$q_{śr}$ – średni roczny odpływ jednostkowy [$dm^{-3}·s^{-1}·km^{-2}$].

b) Wartości miesięczne ładunków substancji w pewnych sytuacjach obliczane są z wykorzystaniem tej samej formuły co ładunki roczne. Jeżeli poboru próbek dokonywano z frekwencją większą niż raz na miesiąc, np. raz na tydzień, analogicznie jak w punkcie 2a należy obliczyć ładunki miesięczne. Wówczas $q_{śr}$ stanowi średni miesięczny odpływ jednostkowy [$dm^{-3}·s^{-1}·km^{-2}$], C_i – tygodniowe stężenie określonego jonu [$mg·dm^{-3}$], q_i – odpływ jednostkowy oznaczony w momencie poboru próbek [$dm^{-3}·s^{-1}·km^{-2}$], natomiast t – liczbę sekund w miesiącu.

W przypadku, gdy pomiar stężenia określonego jonu mierzono raz na miesiąc, ładunek miesięczny należy obliczyć według następującego wzoru:

$$L_m = t \cdot 10^{-8} \cdot (C_i \cdot q_{śr.}) \text{ [kg·ha}^{-1}\text{·msc}^{-1}\text{]}$$

L_m – miesięczny ładunek substancji odpływający ciekiem [$kg·ha^{-1}·msc^{-1}$],
t – liczba sekund w miesiącu,
C_i – stężenie jonu (wartości miesięczne) [$mg·dm^{-3}$],
$q_{śr}$ – średni miesięczny odpływ jednostkowy [$dm^{-3}·s^{-1}·km^{-2}$].

Procedury klasyfikacji hydrochemicznych prób wody oraz kontroli jakości wyników analiz wymagają przeliczania stężenia jonów na równoważniki molowe oraz ze stężenia formy jonowej na formę pierwiastkową (bądź odwrotnie).

Wszystkie algorytmy takich przeliczeń są wspólne dla wszystkich programów pomiarowych ZMŚP, w ramach których pobiera się do analizy próby wody.

6.12.4. Kontrola i weryfikacja danych

Ocena wiarygodności i reprezentatywności wyników analiz chemicznych powinna być przeprowadzona w dwóch podejściach. Pierwsze podejście to ocena obliczonych błędów względnych analizy, np. (Witczak i in. 2013):

- błąd według bilansu jonowego,
- błąd według porównania substancji rozpuszczonych,
- błąd według porównania przewodności.

Podejście drugie to kontrola statystyczna poprawności wyników prowadzona np. w ramach realizacji międzylaboratoryjnych programów zapewniania jakości. Każde laboratorium uczestniczące w analizach wód na potrzeby ZMŚP powinno brać udział w takich programach.

W ramach ZMŚP podstawą opracowania wyników analiz chemicznych wód jest wstępna ocena poprawności wykonanych oznaczeń chemicznych. Przeprowadza się ją zgodnie z normą PN-89/C-04638/01,02,03 poprzez określenie zgodności sumy milimoli równoważnikowych kationów (ΣrK) z sumą milimoli równoważnikowych anionów (ΣrA) i wyliczenie względnego błędu analizy (błąd wg bilansu jonowego). W wersji minimalnej oznaczone jony, które powinny być uwzględnione w obliczeniach, to jony główne (Pokojska, Bednarek 2012): Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^- oraz K^+, Na^+, Mg^{2+} i Ca^{2+}. Stanowią one zwykle ponad 90% substancji rozpuszczonych w typowych wodach naturalnych. W bilansie powinno się uwzględniać także inne jony, które zostały oznaczone w próbie i których stężenie nie jest śladowe (np. $NH4^+$, H^+, NO_3^-, PO_4^{3-}). Niegdyś bilans jonowy zestawiano w miligramorównoważnikach ($mval \cdot dm^{-3}$), ale ponieważ jednostka ta nie występuje w układzie SI, to zgodnie z normą PN-89/C-04638/01 można stosować odpowiadające im liczbowo milimole równoważnikowe ($mmolr \cdot dm^{-3}$). Algorytmy przeliczania wartości stężeń poszczególnych jonów na milimole równoważnikowe są wspólne dla wszystkich programów pomiarowych ZMŚP, w których dokonuje się analiz prób wody.

Po przeliczeniu wartości stężeń jonów na milimole równoważnikowe oblicza się sumy, zawartości w próbie oddzielnie anionów (ΣrA) i kationów (ΣrK), które umożliwiają oznaczenie błędu względnego analizy (B_{wzgl}) według formuły:

$$B_{wzgl} = \frac{\Sigma rK - \Sigma rA}{\Sigma rK + \Sigma rA} \cdot 100\%$$

Zestawione w tabeli 6.12.6 dopuszczalne wartości błędu względnego analizy wyrażonego w procentach są zależne od sumy zawartości jonów oznaczonej w próbie wody. Liczbę prób, których wyniki analiz nie spełniły kryterium bilansu jonowego, należy podać w corocznym raporcie z realizacji programu H1 w ramach ZMŚP.

Tabela 6.12.6. Dopuszczalne wartości błędu względnego analizy w zależności od oznaczonej sumy jonów w próbie wody (PN-89/C-04638/02) (Witczak i in. 2013)

Suma jonów w wodzie $\Sigma rK + \Sigma rA$ [mmolr·dm^{-3}]	Dopuszczalny błąd względny analizy B_{wzgl} [%]
> 15	2
5–15	2–5
3–5	5–10
< 3	nie ustalono

Innym podejściem do oceny jakości oznaczeń jest porównanie sumy stężeń jonów z przewodnictwem elektrolitycznym próby wody. Można zastosować w tym przypadku liczne formuły do przeliczenia przewodności elektrolitycznej właściwej na mineralizację ogólną (np. Pazdro, Kozerski 1990) lub składu jonowego na przewodność elektrolityczną właściwą. Tego rodzaju metody mogą być stosowane we wstępnej ocenie poprawności oznaczeń z powodu ograniczonej precyzji.

6.12.5. Raportowanie danych do bazy danych

Raportowanie wyników pomiarów, analiz chemicznych i obliczeń do bazy danych ZMŚP wymaga szczególnej staranności i jednolitego podejścia we wszystkich programach pomiarowych. Poniżej podano jednolity wzór tabeli bazy danych oraz objaśnienia użytych kodów i symboli. Zestawienie parametrów w zakresie obligatoryjnym i rozszerzonym, które należy raportować w formie tabeli (6.12.7), zawierają tabele 6.12.1 i 6.12.2.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- Wszystkie oznaczenia parametrów fizykochemicznych i chemicznych przekazywane do bazy powinny zostać wykonane w próbce pobranej w ten sam sposób (liczba i czas poboru próbek w okresie pomiarowym). Jeżeli dotychczas wykonywano oznaczenia wybranych parametrów częściej niż raz w miesiącu, np. raz w tygodniu, i podawano jako średnie miesięczne, w celu zachowania ciągłości serii nadal należy raportować te dane do bazy danych.
- W danych przekazywanych do bazy podajemy formę pierwiastkową: S-SO_4, N-NO_3, N-NH_4.
- Jeżeli pH próbki jest równe lub mniejsze od 4,50, dla zasadowości (ALK) podajemy wartość 0 mg/l.
- W przypadku poziomu i przepływu wody, jeżeli pomiary są wykonywane częściej niż raz na dobę, w kolumnie typ danych umieszczamy kod X (średnia arytmetyczna), w pozostałych przypadkach kolumna pozostaje pusta, datę zapisujemy w formacie RRRR-MM-DD.
- W przypadku parametrów fizykochemicznych i chemicznych dla próbek pobieranych raz w miesiącu podajemy datę w formacie RRRR-MM-DD (data pobrania próbki). Jeżeli pomiary tych parametrów są wykonywane częściej niż raz w miesiącu i do bazy przekazujemy średnie ważone (kod W kolumna typ danych), datę zapisujemy w formacie RRRR-MM-00.

Tabela 6.12.7. Zapis danych w bazie danych, program H1 – Wody powierzchniowe – rzeki. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
H1	XXZM	SG	004			5	2018-04-00	1	ALK	DB	198,8		W	F1	DB	TIZ	ZM	mg/l	
H1	XXZM	SG	004			5	2018–10-00	1	COND	DB	41,1		W			CNA	DB	mS/m	
H1	XXZM	SG	004				2018-01-02	1	Q_E	ZM	1,402							m3/s	
H1	XXZM	WI	008			5	2018-07-03	1	CA	DB	71					AAF	DB	mg/l	
H1	XXZM	WI	008			5	2018-06–12	1	PTOT	DB	112					SPV	ZM	ug/l	
H1	XXZM	WP	008				2018-01–28	1	WL	DB	235							cm	
H1	XXZM	WP	008				2018-09–25	1	ZK	ZM	112030							[–]	
H1	XXZM	RS	010				2018–10–20	1	ZLR	ZM	0							[–]	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium, pole niewykorzystywane w tym programie, F (LM) – kod listy medium, pole niewykorzystywane w tym programie, G (POZ) – głębokość w cm pobrania próbki poniżej poziomu wody w rzece, pole obligatoryjne (poza poziomem, zarastaniem koryta, zjawiskami lodowymi oraz przepływem), H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-00 lub RRRR-MM-DD, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru – oznacza ilość pojedynczych punktów poboru próbek, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole opcjonalne (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole opcjonalne (Opisy/Metody przygotowania próby), P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, pole obligatoryjne, jeżeli podano metodę wstępnego przygotowania, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole opcjonalne (Opisy/Metody pomiarowe) (Instytucje/Laboratoria), R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole obligatoryjne, jeżeli podano kod metody analitycznej, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole niewykorzystywane w tym programie.

Tabela 6.12.8. Zasady kodowania parametrów pomiarowych w różnych sytuacjach hydrologicznych. Oprac. R. Kruszyk

Sytuacja hydrologiczna	Poziom wody (WL)		Przepływ (Q_E)		Pozostałe parametry	
	wartość	kod jakości	wartość	kod jakości	wartość	kod jakości
Koryto napełnione wodą, widoczny ruch wody	zmierzona	opcjonalny	zmierzona (obliczona)	opcjonalny	zmierzona	opcjonalny
Koryto napełnione wodą, brak ruchu wody	zmierzona	opcjonalny	0 m^3/s	opcjonalny	zmierzona	opcjonalny
W korycie występują kałuże	pusta komórka	S	0 m^3/s	opcjonalny	pusta komórka	S
Koryto suche	pusta komórka	S	0 m^3/s	opcjonalny	pusta komórka	S

- Zasady kodowania parametrów pomiarowych w różnych sytuacjach hydrologicznych przedstawia tabela 6.12.8.
- Zestawienie wartości dla parametru zlodzenie rzek (ZLR) przedstawia tabela 6.12.9.
- Zestawienie wartości dla parametru zarastanie koryta (ZK) przedstawia tabela 6.12.10.

Zarówno do zlodzenia rzeki (ZLR), jak i zarastania koryta (ZK) data pomiaru jest podawana w formacie RRRR-MM-DD, kolumna typ danych pozostaje pusta.

Tabela 6.12.9. Zestawienie wartości dla parametru zlodzenie rzek (ZLR). Oprac. R. Kruszyk

Kod	Opis
0	brak zlodzenia
1	śryż
2	lód brzegowy
3	zlodzenie całkowite
4	cały profil zamarznięty do dna
5	spływ kry
6	zator lodowy

Tabela 6.12.10. Zestawienie wartości dla parametru zarastanie koryta (ZK). Oprac. R. Kruszyk

Kod	Opis
Roślinność zanurzona	
10	Roślinność zanurzona, brak
11	Roślinność zanurzona, do 1/3 szerokości koryta
12	Roślinność zanurzona, od 1/3 do 2/3 szerokości koryta
13	Roślinność zanurzona, ponad 2/3 szerokości koryta
Roślinność zanurzona o liściach pływających	
20	Roślinność zanurzona o liściach pływających, brak
21	Roślinność zanurzona o liściach pływających, do 1/3 szerokości koryta
22	Roślinność zanurzona o liściach pływających, od 1/3 do 2/3 szerokości koryta
23	Roślinność zanurzona o liściach pływających, ponad 2/3 szerokości koryta
Roślinność wynurzona	
30	Roślinność wynurzona, brak
31	Roślinność wynurzona, do 1/3 szerokości koryta
32	Roślinność wynurzona, od 1/3 do 2/3 szerokości koryta
33	Roślinność wynurzona, ponad 2/3 szerokości koryta

Pierwsza cyfra oznacza typ roślinności (1–3), druga cyfra oznacza stopień pokrycia roślinnością zwierciadła wody (0–3). Przekazywane do bazy wartości powinny się składać zawsze z 6 cyfr, np. **132032**, gdzie:
13 – roślinność zanurzona zajmująca 2/3 szerokości koryta,
20 – roślinność zanurzona o liściach pływających – brak,
32 – roślinność wynurzona zajmująca od 1/3 do 2/3 szerokości koryta.

Literatura

Bajkiewicz-Grabowska E., Magnuszewski A., Mikulski Z., 1993. Hydrometria. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.

Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 2006. Hydrologia ogólna. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.

Boiten W., 2003. Hydrometry. A.A. Balkema Publishers, Lisse.

Byczkowski A., 1999. Hydrologia. T. 1 i 2. Wyd. SGGW, Warszawa.

Morgenschweis G., 2010. Hydrometrie. Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Musy A., Higy Ch., 2011. Hydrology. A Science of Nature. CRC Press Science Publishers, Enfield.

Ozga-Zielińska M., Brzeziński J., 1994. Hydrologia stosowana. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.

Pazdro Z., Kozerski B., 1990. Hydrogeologia ogólna. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.

Pokojska U., Bednarek R. (red.), 2012. Geochemia krajobrazu. Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń.

Witczak S., Kania J., Kmiecik E., 2013. Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. Biblioteka Monitoringu Środowiska, IOŚ, Warszawa.

6.13. Program H2 – Wody powierzchniowe – jeziora

Maciej Lenartowicz

Zakład Hydrologii, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski

6.13.1. Wprowadzenie, cel pomiarów

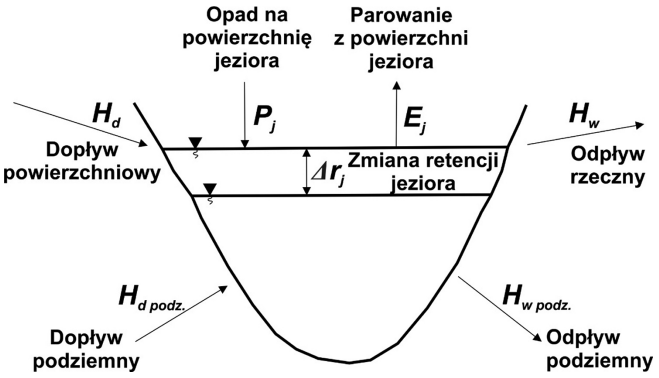
Program H2 (jeśli jest prowadzony na Stacji Bazowej) pozostaje w ścisłym związku z pozostałymi programami monitoringu, takimi jak A1 – Meteorologia, F2 – Wody podziemne czy H1 – Wody powierzchniowe – rzeki, które dają możliwość opisu elementów obiegu wody, takich jak np. zasilanie opadowe, ewapotranspiracja, retencja wód podziemnych, formowanie odpływu ze zlewni. Łączna analiza wyników wymienionych programów może stanowić bezcenne źródło informacji w aspekcie interpretacji np. dynamiki stanu roślinności, bilansu wodnego.

Krążąca w środowisku woda jest głównym nośnikiem migrujących pierwiastków. Rozpoznanie procesów obiegu wody stanowi zatem podstawę do wnioskowania m.in. odnośnie do obiegu materii w geoekosystemach zlewni. Wykonywane w programie H2 oznaczenia cech chemicznych wód jeziornych uzupełniają obliczenia prowadzone w ramach innych programów tzn. Chemizm opadów atmosferycznych (C1), Chemizm opadu podkoronowego i spływu po pniach (C2 i C3), Chemizm roztworów glebowych (F1), Wody podziemne (F2), Wody powierzchniowe – rzeki (H1) i opisują łącznie obieg pierwiastków (w tym biogenów) w zlewni.

Chemizm wód jeziornych jest wynikiem łącznego, zmiennego w czasie i przestrzeni oddziaływania wód atmosferycznych, podziemnych i nierzadko rzecznych (Kudelska i in. 1994). Procesy limniczne, takie jak sedymentacja, aktywność biochemiczna organizmów, mieszanie i zamarzanie wód w cyklu rocznym, także w istotnym stopniu na niego wpływają. Retencja jeziorna może mieć znaczący wpływ na kształtowanie się obiegu wody i materii w zlewni. Jeziora stanowią miejsce retencji, aktywnie ze względu na swą hydrobiologiczną naturę uczestniczące w procesach przepływu energii i obiegu materii. Jeżeli w granicach zlewni badawczej ZMŚP znajduje się jezioro, musi być ono z uwagi na wyżej wymienione przyczyny uwzględnione w programach monitoringowych.

Obserwowana zmienność stanów wody w jeziorach jest wynikiem różnorodnego ich zasilania, zarówno w krótkim, jak i długim horyzoncie czasowym (ryc. 6.13.1). Stąd kilkuletni/wieloletni zbiór danych codziennych stanów wody pozwala na wyznaczenie zarówno stanów charakterystycznych – głównych i okresowych, które w pełni charakteryzują reżim hydrologiczny jeziora, jak i określenie kierunku zachodzących zmian (trendów).

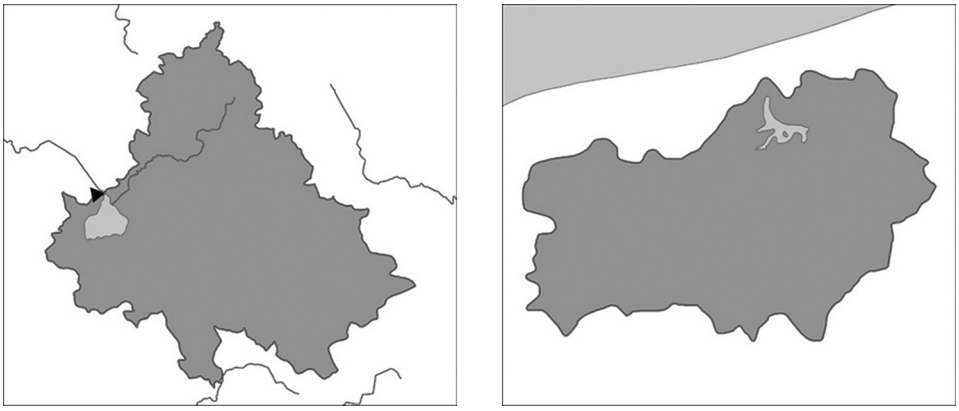
Badania jeziora musi w każdym przypadku poprzedzać jasne zdefiniowanie granic jego zlewni topograficznej. Podstawą określenia przebiegu topograficznego działu wodnego, stanowiącego granice zlewni, jest mapa topograficzna lub numeryczny model terenu (NMT). Wskazane jest zastosowanie NMT o dokładności



Ryc. 6.13.1. Schemat składowych bilansu wodnego jeziora (opracowanie własne na podstawie Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski 2006)

adekwatnej do rozmiaru zlewni. Najbardziej pożądane byłoby zastosowanie danych pochodzących ze skaningu laserowego (LIDAR), których rozdzielczość przestrzenna wynosi 1 m, a błąd średni wysokości nie przekracza 0,2 m. Może to być jednak utrudnione w zlewniach o stosunkowo dużej powierzchni. Podobnie jak w przypadku zlewni rzecznej, należy raz na 5 lat dokonywać kontroli poprawności przebiegu działu wodnego zlewni jeziora. Kontrola ta powinna uwzględniać wizję terenową oraz analizę najnowszych danych topograficznych odnoszących się do obszarów potencjalnie problematycznych pod względem antropopresji oraz natężenia procesów erozji i akumulacji. W każdym przypadku wykorzystane powinny zostać w tym celu najnowsze dostępne materiały kartograficzne i geodezyjne (ortofotomapy, BDOT10k, numeryczne modele terenu).

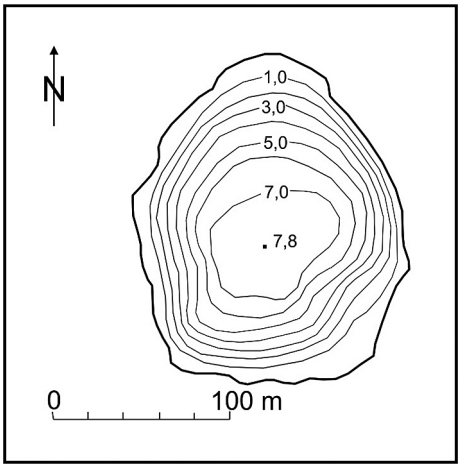
Zlewnia jeziora odpływowego i przepływowego powinna być wyznaczona po profil zamykający, zlokalizowany w miejscu istnienia wypływu z jeziora, w którym kontrolowany jest stan wody, odpływ i skład chemiczny wód analogicznie do zlewni regularnych. Zlewnie jezior przepływowych składają się ze zlewni



Ryc. 6.13.2. Rodzaje zlewni jeziornych: jeziora przepływowego (a) i bezodpływowego (b) (opracowanie własne)

bezpośredniej jeziora oraz ze zlewni rzecznych dopływów jeziora. W przypadku zlewni jezior bezodpływowych dział wodny powinien wyznaczać zasięg zlewni bezpośredniej jeziora, tzn. obszaru, z którego spływ powierzchniowy zasila misę jeziorną. W tej sytuacji nie wyznacza się profilu zamykającego zlewnię (ryc. 6.13.2). Powierzchnia zlewni powinna być wyznaczona w km^2 z dokładnością do 3 miejsc dziesiętnych.

Bardzo przydatne do analiz retencji jeziornej jest rozpoznanie ukształtowania misy jeziornej i opracowanie planu batymetrycznego (ryc. 6.13.3). Szczegółowe rozpoznanie morfometryczne w wyniku zastosowania echosondy pozwala na prawidłowe wytypowanie lokalizacji punktu poboru prób do analiz chemicznych, oszacowanie objętości misy jeziornej, obliczenia zmian retencji jeziornej w wybranym kroku czasowym na podstawie obserwacji stanów wody czy zestawienie bilansu wodnego jeziora z uwzględnieniem jego całkowitej retencji. Zaleca się aktualizację planu batymetrycznego jeziora przynajmniej co 10 lat.



Ryc. 6.13.3. Przykładowy plan batymetryczny jeziora (opracowanie własne)

6.13.2. Zakres parametrów pomiarowych

W zakresie parametrów ilościowych w programie H2 prowadzone są tylko pomiary stanów wody jeziora. Ze względu na konieczność utrzymania jednolitego systemu pomiarowego, częstotliwość tych pomiarów powinna nawiązywać do programu pomiarowego Wody powierzchniowe – rzeki (H1). Szczególnie dotyczy to sytuacji, kiedy w zlewni Stacji Bazowej prowadzone są oba te programy. Synchronizacja częstotliwości pomiarów stanów wody w rzekach i jeziorach ułatwia zestawienie bilansu wodnego zlewni rzeczno-jeziornej.

Zakres parametrów chemicznych mierzonych w programie H2 pozostaje w ścisłym związku z zakresem innych programów, np. Chemizm opadów atmosferycznych (C1), Chemizm opadu podkoronowego i spływu po pniach (C2 i C3), Chemizm roztworów glebowych (F1), Wody podziemne (F2), Wody powierzchniowe – rzeki (H1) (tab. 6.13.1, 6.13.2). Są one dobrane w sposób umożliwiający ocenę obiegu głównych jonów i podstawowych biogenów (bilanse jonowe, klasyfikacje hydrogeochemiczne itp.).

Tabela 6.13.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego H2 – Wody powierzchniowe – jeziora

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Poziom wody	WL	DB	cm, 0	1/doba lub ciągła rejestracja
Temperatura wody	TEMP	DB	°C, 1	1/kwartał
Przewodność elektrolityczna właściwa	COND	DB	$mS \cdot m^{-1}$, 1	
odczyn (pH)	PH	DB	[–], 2	
Zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	ALK	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Sód Na	NA	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Potas K	K	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Wapń Ca	CA	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Magnez Mg	MG	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Azot azotanowy N-NO_3	NO3N	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Azot amonowy N-NH_4	NH4N	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Siarka siarczanowa S-SO_4	SO4S	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Chlorki	CL	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Fosfor ogólny $P_{ogól.}$	PTOT	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 0	
Tlen rozpuszczony O_2	O2D	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
BZT_5	BZT5	ZM	$mgO_2 \cdot dm^{-3}$, 1	

Tabela 6.13.2. Parametry rozszerzone programu pomiarowego H2 – Wody powierzchniowe – jeziora

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Zawiesina	SUS	ZM	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	1/kwartał
Krzemionka SiO_2	SIO2	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 2	
Fosfor fosforanowy P-PO_4	PO4P	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 0	
Rozpuszczony węgiel organiczny RWO	DOC	DB	$mg \cdot dm^{-3}$, 1	
Kadm Cd	CD	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Miedź Cu	CU	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Ołów Pb	PB	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Mangan Mn	MN	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Cynk Zn	ZN	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Nikiel Ni	NI	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Arsen As	AS	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Żelazo Fe	FE	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 1	
Glin Al	AL	DB	$\mu g \cdot dm^{-3}$, 2	

6.13.3. Metodyka

6.13.3.1. Wymagania stanowisk pomiarowych

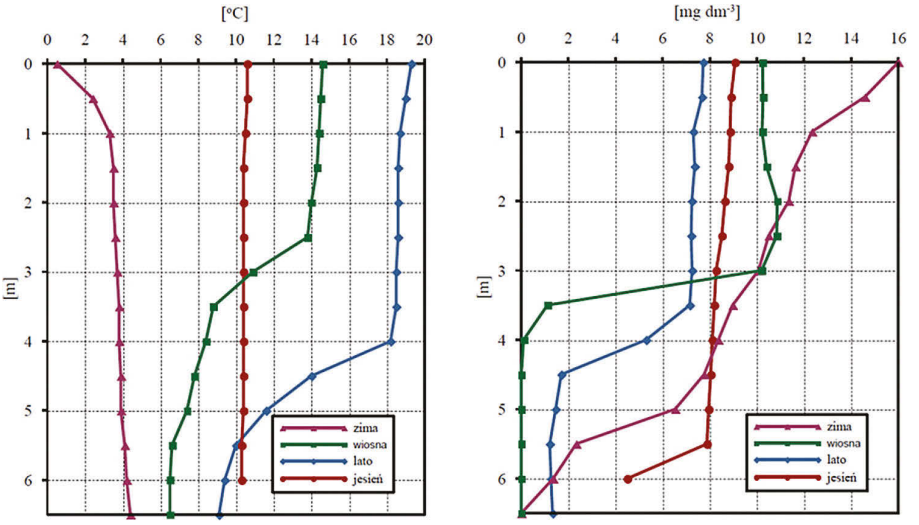
Pomiar stanów wody na jeziorach prowadzi się analogicznie jak na rzekach, w odpowiednio wybranych miejscach (posterunkach wodowskazowych) za pomocą urządzeń rejestrujących (limnimetry) lub odczytów na łacie wodowskazowej przez obserwatora. Limnimetry prowadzą ciągłą rejestrację wahań zwierciadła wody. Zarówno łaty wodowskazowe, jak i limnimetry powinny być tak usytuowane, aby przy pomiarze wyeliminować wszelkie zakłócenia takie jak wpływ falowania, zjawisk lodowych, roślinności czy cofki pochodzenia naturalnego lub antropogenicznego. Jeżeli w posterunku wodowskazowym nie można zainstalować rejestratora stanów wody lub doszło do jego awarii, wtedy podstawą kontroli napełnienia misy jeziornej jest łata wodowskazowa. Łata wodowskazowa powinna być bezwzględnie zainstalowana także w przypadku ciągłej automatycznej rejestracji stanów wody. Służy ona wtedy do kontroli poprawności zapisów limnigraficznych. Na niewielkich jeziorach nieprzepływowych i przepływowych (do 1000 ha powierzchni) wystarczy zwykle jeden posterunek wodowskazowy.

W przypadku pojawienia się w misie jeziornej zarastania w sezonie letnim i/lub zjawisk lodowych w sezonie zimowym oprócz średniej wartości stanu wody należy zanotować obserwację dotyczącą fazy procesu zarastania lub zlodzenia.

W przypadku stwierdzenia w posterunku wodowskazowym trwałych zmian poziomu odniesienia stanów wody czy umocowania limnigrafu lub łaty powstałych np. na skutek zjawisk lodowych należy im niezwłocznie zaradzić, aby zachować ciągłość serii pomiarowej. Zaleca się z tego względu coroczną (najlepiej po zakończeniu sezonu zimowego) kontrolę położenia zera wodowskazu w postaci niwelacji od najbliższego repera geodezyjnego.

W ramach prowadzonego programu istotne jest utrzymanie tej samej częstotliwości pomiarów stanów wody we wszystkich Stacjach Bazowych prowadzących program H2. Osiągnięcie tego celu wymaga utrzymania profilu pomiarowego w nienagannym stanie technicznym, co powinno podlegać regularnym kontrolom. W chwili obecnej wydaje się, że priorytetem w tym względzie jest ocena funkcjonowania hydrologicznych profili pomiarowych pod kątem ewentualnych czynników zewnętrznych wpływających na wyniki pomiarów (np. falowanie, działalność bobrów, zmiany poziomu zera wodowskazu itp.).

Stanowisko poboru próbek wód jeziornych zlokalizowane powinno być w najgłębszej części zbiornika, daleko od wpływów litoralu. Do wybrania właściwej lokalizacji bardzo często niezbędne są pomiary batymetryczne. Najczęściej lokalizacja stanowiska poboru prób wody w żaden sposób nie nawiązuje do lokalizacji posterunku wodowskazowego i jest zależna przede wszystkim od ukształtowania misy jeziornej. Istotne jest, aby wyniki pomiarów pozwalały uchwycić i ocenić charakter stratyfikacji termiczno-tlenowej (ryc. 6.13.4).



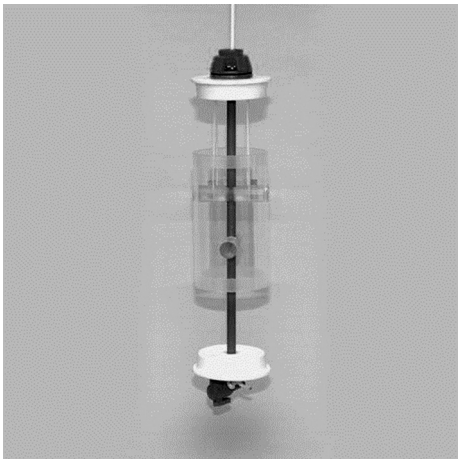
Ryc. 6.13.4. Profile termiczne i tlenowe ilustrujące zmiany stratyfikacji wód jeziornych w poszczególnych porach roku

6.13.3.2. Aparatura pomiarowa

Rytm wahań stanów wody w jeziorach jest na tyle wolny, że wykonuje się zwykle jeden odczyt z łaty wodowskazowej w ciągu doby (6:00 UTC). Natomiast w przypadku jezior przepływowych o większej zmienności stanów wody można prowadzić ich częstszą rejestrację. Jeżeli w posterunku wodowskazowym znajduje się limnigraf (limnimetr), należy odczytać godzinowe wartości stanów wody w korycie z limnigramu. Średni dobowy stan wody oblicza się jako wartość średnią arytmetyczną (patrz algorytmy obliczeń parametrów). Ponadto każdej doby pomiarowej o godz. 6:00 UTC należy odczytać stan wody na łacie wodowskazowej w celu kontroli poprawności zapisów limnigraficznych (tzw. reper kontrolny). Producenci sprzętu pomiarowego deklarują obecnie typową dokładność automatycznych odczytów stanów wody na poziomie nawet ±0,5 cm. Należy dążyć do zainstalowania w posterunku wodowskazowym urządzeń o możliwie największej dokładności pomiaru. Ze względu na założoną jednostkę pomiarową stanów wody w systemie baz danych ZMŚP wynoszącą 1 cm proponuje się docelowe stosowanie sprzętu pomiarowego o dokładności nie mniejszej niż ±1,0 cm. Prowadzenie pomiarów automatycznych pozwala na pozyskiwanie odczytów stanów wody w znacznie krótszym kroku czasowym niż miało to miejsce na początku prowadzenia pomiarów w sieci ZMŚP, ale nie zwalnia z konieczności wykonywania częstych inspekcji posterunków wodowskazowych. Urządzenia do pomiaru stanów wody zostały opisane w podrozdziale 6.12.3.2, zawierającym omówienie programu H1.

Pobór prób wód jeziornych powinien odbywać się pionowym próbnikiem (ryc. 6.13.5) z łodzi lub innej jednostki pływającej. Niektóre z oznaczeń chemicznych, tzn. przewodność elektrolityczna właściwa i odczyn, powinny być mierzone *in situ*

na trzech głębokościach. Temperatura wody oraz nasycenie tlenem podlega pomiarom w większej liczbie punktów w profilu głębokościowym, aby możliwe było sporządzenie profili termiczno-tlenowych. Pomiary *in situ* należy wykonywać tymi samymi metodami jak w przypadku rzek z tym, że konduktometr, pH-metr czy sonda tlenowa powinny być wyposażone w okablowanie o długości adekwatnej do głębokości akwenu. Niektóre z urządzeń pomiarowych (np. termometr i konduktometr) mogą być zamontowane do pionowych próbników wody, które należy używać do poboru prób wody z większej głębokości. Parametry te są wówczas mierzone w czasie pobierania prób.



Ryc. 6.13.5. Pionowy próbnik do poboru wód jeziornych typu Kemmerer (www.geomor.com.pl)

6.13.3.3. Zasady pobierania próbek wód jeziornych

Pobór prób wody jeziornej w celu dokonania analizy chemicznej musi podlegać jasnym zasadom w celu zapewnienia reprezentatywności uzyskanych wyników. Jak już wspomniano, optymalnym miejscem poboru prób jest najgłębszy punkt jeziora. Należy pamiętać, że zmienność warunków zasilania misy jeziornej, która wpływa na skład chemiczny wód, może być znaczna na niewielkiej nawet odległości i dlatego zmiana lokalizacji stanowiska nie jest wskazana. Podstawowe zasady poboru prób wody są następujące:

- próbki pobiera się w profilu pionowym na trzech głębokościach:
  - pod powierzchnią;
  - w termoklinie;
  - nad dnem;
- w przypadku tlenu rozpuszczonego i temperatury próbki należy pobrać na takich głębokościach, aby uchwycić stratyfikację termiczną jeziora;
- poboru próbek dokonuje się od 2 do 6 razy w roku (minimalny dopuszczalny program poboru próbek ogranicza się do okresu wiosennego i jesiennego mieszania wód jeziora);
- do poboru próbek używać należy próbników wykonanych z niebarwionego teflonu, polipropylenu lub polietylenu opuszczanych i wydobywanych na linie;
- osobne próbki do analiz metali śladowych pobiera się do pojemników mytych roztworami kwasu; natychmiast po pobraniu należy je utrwalić; zalecane jest także ich niezwłoczne przesączenie; metody utrwalania prób są wspólne dla wszystkich programów ZMŚP, a ich dobór zależy od analiz, jakim ma być poddana próba wody;
- próbki przeznaczone do oznaczania rozpuszczonego węgla organicznego transportuje się i przechowuje w szklanych butelkach;

- butelki przed użyciem przemywać należy wodą dejonizowaną; pozostały sprzęt kilka dni przed użyciem płukać trzeba w rozcieńczonym kwasie (najlepiej w 1M roztworze kwasu azotowego lub solnego), a następnie przechowywać w workach z obojętnego tworzywa;
- przed pobraniem próbki butelkę należy trzykrotnie przepłukać wodą z jeziora;
- pomiar odczynu, przewodności elektrolitycznej właściwej i tlenu rozpuszczonego należy wykonać przed przesączeniem próby;
- zalecane jest, aby praktycznie wszystkie próbki zostały przesączone; może to wpływać na wynik niektórych analiz; dlatego też można tę procedurę pominąć w przypadku czystych bezbarwnych naturalnych wód powierzchniowych; przesączanie jest elementem procedury analitycznej w niektórych oznaczeniach (rozpuszczony węgiel organiczny); stosować należy wtedy sączki membranowe o średnicy por 0,40–0,45 μm przed użyciem przemyte dejonizowaną wodą;
- czas transportu i przechowywania powinien być w miarę możliwości skrócony do minimum; w przypadku niektórych oznaczeń, na które wpływ ma czas przechowywania próbki, np. zasadowości czy też form azotu, maksymalny okres między poborem próbek a analizami laboratoryjnym nie powinien przekroczyć 24 godz.; aby uniknąć zmian chemicznych związanych z aktywnością mikroorganizmów i zanieczyszczeniami, butelki z próbkami transportuje się w torbach z tworzywa chroniących od światła słonecznego i w miarę możliwości w izotermicznych pojemnikach; do czasu rozpoczęcia analiz butelki przechowuje się bez dostępu światła w temperaturze 4°C (tolerowany zakres temperatury wynosi 1–5°C).

6.13.3.4. Zalecane metody analityczne

W tabelach 6.13.3 i 6.13.4 zestawiono metody analityczne zalecane w analizach cech fizyczno-chemicznych wód jeziornych. Dobór metod podstawowych i alternatywnych opracowano na podstawie wytycznych podanych przez Witczaka i in. (2013). W tabelach zaznaczono konieczność dokonania niektórych oznaczeń w terenie, niezwłocznie po pobraniu próby wody lub w jego trakcie. Oznaczenia prowadzone *in situ* wymagają nieraz pobrania dodatkowych objętości prób, szczególnie jeżeli próbnik nie umożliwia sprzężenia z termometrem czy konduktometrem. Pomiary odczynu, przewodności elektrolitycznej właściwej i stężenia tlenu rozpuszczonego nie mogą być wykonywane w próbach, które zostaną przekazane do laboratorium. Do oznaczenia przewodności elektrolitycznej nie można używać próby, w której wcześniej oznaczano odczyn. Próby podczas pomiarów w terenie i podczas transportu do laboratorium nie powinny być eksponowane na działanie promieni słonecznych oraz produktów lotnych (chloroform, opary paliw, a nawet dym papierosowy). Zaleca się ich przechowywanie i transportowanie w czystym i chłodnym otoczeniu. Jeżeli Stacja Bazowa dysponuje laboratorium, podczas niesprzyjających warunków atmosferycznych pomiary odczynu, przewodności elektrolitycznej i stężenia tlenu można przeprowadzić w laboratorium niezwłocznie po dokonaniu poboru prób. Bardzo ważnym aspektem analiz cech fizyczno-chemicznych wody jest ich spójność metodyczna w poszczególnych programach realizowanych w ramach ZMŚP.

Tabela 6.13.3. Zalecane metody analiz chemicznych wody w przypadku zakresu obligatoryjnego prowadzonych oznaczeń w ramach programu H2

Parametr	Metoda podstawowa	Metoda alternatywna
Przewodność elektrolityczna właściwa	Elektrometryczna, konduktometryczna ze standaryzacją do temperatury +25°C (oznaczenie w terenie)	–
Odczyn (pH)	Potencjometryczna (oznaczenie w terenie)	–
Zasadowość (jeżeli pH > 4,5)	Miareczkowanie wobec fenoloftaleiny oraz oranżu metylowego	Miareczkowanie potencjometryczne
Sód Na	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową
Potas K	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową
Wapń Ca	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS)
Magnez Mg	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) Chromatografia jonowa (IC)
Azot azotanowy N-NO_3	Chromatografia jonowa (IC)	Spektrofotometria Przepływowa CFA/FIA z detekcją spektrofotometryczną
Azot amonowy N-NH_4	Spektrofotometria	Przepływowa CFA/FIA z detekcją spektrofotometryczną
Siarka siarczanowa S-SO_4	Chromatografia jonowa (IC)	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES) Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS)
Chlorki Cl	Chromatografia jonowa (IC)	Przepływowa CFA/FIA z detekcją fotometryczną lub potencjometryczną
Fosfor ogólny $P_{ogól.}$	Spektrofotometria	Przepływowa CFA/FIA z detekcją spektrofotometryczną Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)
Tlen rozpuszczony O_2	Elektrochemiczna z zastosowaniem sondy tlenowej (oznaczenie w terenie)	Jodometryczna miareczkowa
BZT_5	Elektrochemiczna z zastosowaniem sondy tlenowej	Jodometryczna miareczkowa

Tabela 6.13.4. Zalecane metody analiz chemicznych wody w przypadku zakresu rozszerzonego prowadzonych oznaczeń w ramach programu H2

Parametr	Metoda podstawowa	Metoda alternatywna
Zawiesina	Metoda wagowa, z filtracją przez sączki z włókna szklanego i prażeniem w temperaturze +105°C	Objętościowa w leju Imhoffa (tylko do zawiesin łatwo opadających)
Krzemionka SiO_2	Spektrofotometria	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)
Glin ogólny $Al_{ogól.}$	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową
Fosfor fosforanowy $P\text{-}PO_4$	Spektrofotometria	Przepływowa CFA/FIA z detekcją spektrofotometryczną Chromatografia jonowa (IC)
Rozpuszczony węgiel organiczny RWO	Spektroskopia w podczerwieni	Chromatografia gazowa
Kadm Cd	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS)
Miedź Cu	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS)
Ołów Pb	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową
Mangan Mn	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową
Cynk Zn	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową
Nikiel Ni	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS) Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową

Parametr	Metoda podstawowa	Metoda alternatywna
Arsen As	Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS)	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES) Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową Spektrofotometria
Żelazo Fe	Atomowa spektrometria emisyjna z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-OES)	Absorpcyjna spektrometria atomowa (AAS) z atomizacją bezpłomieniową Spektrometria mas z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS)

6.13.3.5. Metody obliczeń parametrów hydrologicznych

Realizacja programu H2 (Wody powierzchniowe – jeziora) wymaga staranności w przeliczaniu danych pomiarowych. Większość parametrów hydrologicznych oblicza się tylko na podstawie jednej zmiennej, tzn. dobowej (terminowej lub godzinowej) wartości stanu wody w jeziorze. Jej chronologiczne ciągi w układzie roku hydrologicznego są punktem wyjścia do oceny obiegu wody w zlewni badawczej. Poniżej zestawiono podstawowe algorytmy obliczeń parametrów hydrologicznych.

1. Średnie dobowe stany wody

W przypadku prowadzenia ciągłej rejestracji stanów wody w jeziorze (limnimetrem) średni dobowy stan wody $H_{śr}$ obliczany jest następująco:

$$H_{śr} = \frac{\sum_{i=1}^{24} H_i}{24} \text{ [cm]}$$

$H_{śr}$ – średnia dobowa wartość stanu wody w jeziorze,
H_i – stany wody zanotowane w kolejnych godzinach doby od $i = 1$ do $i = 24$.

2. Stany wody charakterystyczne główne I stopnia

Do stanów wody charakterystycznych głównych I stopnia zalicza się stany ekstremalne okresowe: maksymalny (WW) i minimalny (NW) stan średni dobowy w rozpatrywanym okresie (np. rok hydrologiczny) oraz stan średni (SW) obliczany według formuły:

$$\text{SW} = \frac{\sum_{i=1}^{n} H_{śri}}{n} \text{ [cm]}$$

SW – średni stan wody w okresie [cm],
$H_{śri}$ – stan wody średni dobowy [cm],
n – liczba dni w rozpatrywanym okresie.

Na podstawie stanów wody charakterystycznych głównych I stopnia oblicza się amplitudę względną stanów wody według poniższej formuły:

$$A_{wW} = \frac{(WW - NW)}{SW} \text{ [–]}$$

3. Stany wody główne II stopnia

Określa się je na podstawie zbiorowości stanów wody głównych I stopnia z wielolecia:

- stany wody ekstremalne – maksymalne (WWW, WSW i WNW) oraz minimalne (NWW, NSW i NNW) stanowią największe i najmniejsze wartości ze zbiorów odpowiednich stanów głównych I stopnia (WW, SW i NW);
- stany wody średnie (SWW, SSW i SNW) określa się na podstawie następujących formuł:

$$SWW = \frac{\sum_{i=1}^{n} WW_i}{n} \text{ [cm]}$$

$$SNW = \frac{\sum_{i=1}^{n} NW_i}{n} \text{ [cm]}$$

n – liczba elementów w rozpatrywanej zbiorowości głównych stanów wody I stopnia.

Wartość SSW należy obliczyć jako średnią arytmetyczną średnich dobowych stanów wody z całego wielolecia według wzoru:

$$SSW = \frac{\sum_{i=1}^{n} H_{śri}}{n} \text{ [cm]}$$

$H_{śri}$ – stan wody średni dobowy [cm]
n – liczba dni w rozpatrywanym okresie (wieloleciu)

4. Zmiana stanu wody jeziora w miesiącu

$$\Delta H_i = H_{i+1} - H_i \text{ [cm]}$$

H_{i+1} – stan wody w jeziorze pierwszego dnia miesiąca $i+1$,
H_i – stan wody jeziora pierwszego dnia miesiąca i,
i – numer miesiąca w roku hydrologicznym,
$i = 1,\ldots, 12$.

6.13.3.6. Metody obliczeń parametrów fizykochemicznych

W przypadku programu pomiarowego H2 nie prowadzi się obliczeń parametrów fizykochemicznych. Przeliczenia wyników analiz chemicznych prób wody polegają na konwersji jednostek z mg·dm^{-3} lub μg·dm^{-3} na milimole równoważnikowe (mmol·dm^{-3}) w przypadku stężeń jonów. Tak jak w innych programach pomiarowych jest to spowodowane koniecznością oceniania poprawności oznaczeń laboratoryjnych. W profilu głębokościowym, w którym dokonuje się poboru prób wody na 3 głębokościach (pod powierzchnią, w termoklinie i nad dnem) oraz po-

miaru warunków termiczno-tlenowych, oblicza się średnie stężenia oznaczonych w próbach pierwiastków. Są to średnie arytmetyczne.

6.13.4. Kontrola i weryfikacja danych

Ocena wiarygodności i reprezentatywności wyników analiz chemicznych powinna być przeprowadzona na podstawie obliczonych błędów względnych analizy. Niezależnie niezbędne jest wykonywanie kontroli w ramach realizacji międzylaboratoryjnych programów zapewniania jakości. Każde laboratorium uczestniczące w analizach wód na potrzeby ZMŚP powinno brać udział w takich programach.

Podstawą opracowania wyników analiz chemicznych wód jest wstępna ocena poprawności wykonanych oznaczeń chemicznych. Przeprowadza się ją zgodnie z normą PN-89/C-04638/01,02,03 poprzez określenie zgodności sumy milimoli równoważnikowych kationów (ΣrK) z sumą milimoli równoważnikowych anionów (ΣrA) i wyliczenie względnego błędu analizy (błąd wg bilansu jonowego). Procedura tej oceny jest analogiczna do tej, którą stosuje się w programie H1 (Wody powierzchniowe – rzeki).

6.13.5. Raportowanie danych do bazy danych

Poniżej podano jednolity wzór tabeli bazy danych (tab. 6.13.5) oraz objaśnienia użytych kodów i symboli. Zestawienie parametrów w zakresie obligatoryjnym i rozszerzonym, które należy raportować w formie poniższej tabeli, zawierają tabele 6.13.1 i 6.13.2.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- Wszystkie oznaczenia parametrów fizykochemicznych i chemicznych przekazywane do bazy powinny zostać wykonane w próbce pobranej w ten sam sposób (liczba i czas poboru próbek w okresie pomiarowym). Jeżeli dotychczas wykonywano oznaczenia wybranych parametrów częściej niż raz na okres pomiarowy, np. raz w tygodniu, i podawano jako średnie miesięczne, w celu zachowania ciągłości serii nadal należy raportować te dane do bazy danych.
- W danych przekazywanych do bazy podajemy formę pierwiastkową: $S\text{-}SO_4$, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$.
- Jeżeli pH próbki jest równe lub mniejsze od 4,50, dla zasadowości (ALK) podajemy wartość 0 mg/l.
- W przypadku poziomu wody, jeżeli pomiary są wykonywane częściej niż raz na okres pomiarowy i przekazywana wartość jest średnią, w kolumnie typ danych umieszczamy kod X (średnia arytmetyczna), datę zapisujemy w formacie RRRR-MM-00. W pozostałych przypadkach (pomiar wykonywany raz na okres pomiarowy) kolumna typ danych pozostaje pusta, datę zapisujemy w formacie RRRR-MM-DD.
- W przypadku parametrów fizykochemicznych i chemicznych dla próbek pobieranych raz na okres pomiarowy podajemy datę w formacie RRRR-MM-DD (data pobrania próbki).

Tabela 6.13.5. Zapis danych w bazie danych, program H2 – Wody powierzchniowe – jeziora. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
H2	XXZM	SG	005			300	2018-03-05	1	ALK	DB	24,7			F1	DB	TIZ	ZM	mg/l	
H2	XXZM	SG	005			500	2018-03-05	1	ALK	DB	14,0			F1	DB	TIZ	ZM	mg/l	
H2	XXZM	SG	005			500	2018-03-05	1	CA	DB	2,72			F1D2	ZM	TIK	ZM	mg/l	
H2	XXZM	SG	005			100	2018-03-05	1	COND	DB	2,4					CNA	DB	mS/m	
H2	XXZM	SG	005			500	2018-03-05	1	COND	DB	2,7					CNA	DB	mS/m	
H2	XXZM	SG	005			300	2018-03-05	1	COND	DB	2,4					CNA	DB	mS/m	
H2	XXZM	SM	009			500	2018–10–30	1	TEMP	DB	9,7							°C	
H2	XXZM	SM	009				2018-01-01	1	WL	DB	68							cm	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium, pole niewykorzystywane w tym programie, F (LM) – kod listy medium, pole niewykorzystywane w tym programie, G (POZ) – głębokość w cm pobrania próbki poniżej poziomu wody w jeziorze, pole obligatoryjne (poza poziomem wody w jeziorze), H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-00 lub RRRR-MM-DD, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru – oznacza ilość pojedynczych punktów poboru próbek, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole opcjonalne (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole opcjonalne (Opisy/Metody przygotowania próby), P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, pole obligatoryjne, jeżeli podano metodę wstępnego przygotowania, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole opcjonalne (Opisy/Metody pomiarowe) (Instytucje/Laboratoria), R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole obligatoryjne, jeżeli podano kod metody analitycznej, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole niewykorzystywane w tym programie.

Literatura

Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 2006. Hydrologia ogólna. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
Kudelska D., Cydzik D., Szoszka H., 1994. Wytyczne monitoringu podstawowego jezior. PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
Witczak S., Kania J., Kmiecik E., 2013. Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. Biblioteka Monitoringu Środowiska, IOŚ, Warszawa.

6.14. Program I1 – Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego

Krzysztof Szoszkiewicz, Szymon Jusik, Daniel Gebler

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

6.14.1. Wprowadzenie, cel pomiarów

Program pomiarowy I1 – Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego – został wprowadzony do Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2015 r. Dodał on do systemu ZMŚP metody zgodne z wymaganiami Ramowej Dyrektywy Wodnej UE. Nowe podejście ma na celu ocenę stanu ekologicznego i stanu hydromorfologicznego rzek, których zlewnia jest podstawą utworzenia Stacji Bazowej ZMŚP.

Występowanie makrofitów w rzekach zależy od wielu parametrów środowiskowych. Najważniejszym z nich jest prędkość przepływu wody, związana ze spadkiem podłużnym koryta. Decyduje ona o uziarnieniu i stabilności materiału dna oraz możliwościach jego zasiedlenia przez rośliny. Parametr ten pozwala wyróżnić dwie grupy rzek (Jusik i in. 2015):

- rzeki z dominacją mszaków i makroglonów – odcinki cieków o spadkach podłużnych koryta > 5‰ i gruboziarnistym materiale dna koryta (wychodnie, głazy, kamienie i gruby żwir);
- rzeki z dominacją roślin naczyniowych – odcinki cieków o spadkach podłużnych koryta < 5‰ i drobnoziarnistym materiale dna koryta (drobny żwir, piasek, muł, glina, ił, torf).

Najważniejszymi czynnikami antropogenicznymi oddziałującymi na makrofity w rzekach są: eutrofizacja oraz zmiany w hydromorfologii. Zróżnicowanie i obfitość roślin wodnych są najsilniej dodatnio skorelowane z fosforem ogólnym i azotem ogólnym. Ze względu na niedostatek przyswajalnych form fosforu pierwiastek ten jest zwykle głównym czynnikiem ograniczającym produkcję pierwotną w ekosystemach wodnych.

6.14.2. Zakres parametrów pomiarowych

Podstawowym parametrem programu jest Makrofitowy Indeks Rzeczny (MIR), który pozwala na ocenę stanu ekologicznego wód płynących zgodnie z wymaganiami Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW) i według zasad stosowanych w Państwowym Monitoringu Środowiska (PMŚ) w Polsce. W oparciu o przeprowadzone badania terenowe obliczane są także wskaźniki botaniczne, takie jak: bogactwo gatunkowe, wskaźnik Shannona-Wiennera (H'), wskaźnik równomierności (J), liczba oraz udział gatunków chronionych i obcych (tab. 6.14.1).

Tabela 6.14.1. Parametry programu pomiarowego I1 – Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Indeks MIR	MIRIX	ZM	[–], 0	1/3 lata
Klasa stanu ekologicznego	ES	ZM	[–], 0	
Bogactwo gatunkowe	SPEC_RICH	ZM	[–], 0	
Wskaźnik różnorodności Shannona-Wiennera	DIX_SW	IM	[–], 0	
Wskaźnik równomierności Shanonna-Wienera	RIX_SW	ZM	[–], 0	
Liczba gatunków chronionych	NSPEC_P	ZM	[–], 0	
Udział gatunków chronionych	FREQ_SPEC_P	ZM	%,0	
Liczba gatunków inwazyjnych	NSPEC_I	ZM	[–], 0	
Udział gatunków inwazyjnych	FREQ_SPEC_I	ZM	%, 0	
Klasa stanu hydromorfologicznego wg HIR dla całej zlewni badawczej	HIRSRS	ZM	[–], 0	
Średnia wartość Hydromorfologicznego Indeksu Rzecznego dla całej zlewni	HIRSRIX	ZM	[–], 3	
Współczynnik korekty klasy stanu hydromorfologicznego na podstawie oceny kameralnej	WKIX	ZM	[–], 3	
Wskaźnik Różnorodności Hydromorfologicznej na podstawie oceny kameralnej	WRHKIX	ZM	[–], 0	
Wskaźnik Przekształcenia Hydromorfologii na podstawie oceny kameralnej	WPHKIX	ZM	[–], 1	
Klasa stanu hydromorfologicznego wg HIR dla odcinka terenowego	HIRS	ZM	[–], 0	
Hydromorfologiczny Indeks Rzeczny dla odcinka terenowego	HIRIX	ZM	[–], 3	

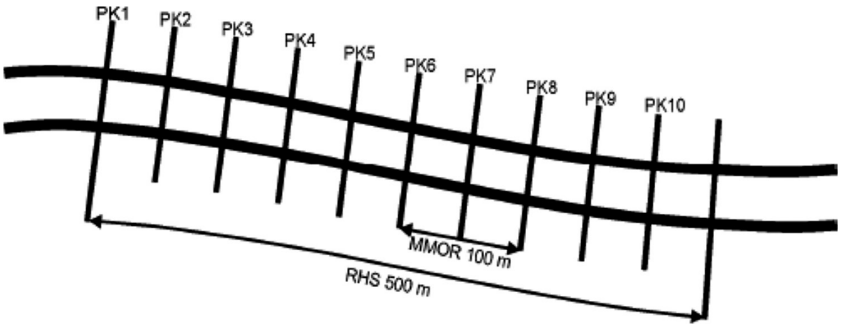
Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Wskaźnik Różnorodności Hydromorfologicznej na podstawie oceny terenowej	WRHTIX	ZM	[–], 1	1/3 lata
Wskaźnik Przekształcenia Hydromorfologii na podstawie oceny terenowej	WPHTIX	ZM	[–], 1	
Klasa stanu hydromorfologicznego wg RHS	HS	ZM	[–], 0	
Indeks Naturalności Siedliska (HQA)	HQAIX	ZM	[–], 0	
Indeks Przekształcenia Siedliska (HMS)	HMSIX	ZM	[–], 0	
Polski Indeks Przekształcenia Siedliska (HMS)	PIHMIX	ZM	[–], 0	

W odniesieniu do oceny warunków hydromorfologicznych podstawowym wskaźnikiem jest Hydromorfologiczny Indeks Rzeczny (HIR), który pozwala na ocenę stanu hydromorfologicznego wód płynących zgodnie z wymaganiami RDW i według zasad stosowanych w PMŚ. Dodatkowo prowadzona jest klasyfikacja hydromorfologiczna rzek według metody River Habitat Survey (RHS), która wdrożona została do programu ZMŚP już w roku 2015 (zanim powstała metoda HIR). Kontynuowanie monitoringu według metody RHS ma na celu umożliwienie ocen retrospektywnych w odniesieniu do przekształceń hydromorfologicznych występujących na terenie zlewni badawczych ZMŚP. Obydwie wymienione metody, oprócz klasyfikacji stanu hydromorfologicznego, pozwalają na określenie kilkudziesięciu zmiennych, które szczegółowo charakteryzują stan siedliska rzek położonych na terenie zlewni badawczych ZMŚP (tab. 6.14.1).

6.14.3. Metodyka

6.14.3.1. Wymagania stanowisk pomiarowych

Badania makrofitów prowadzi się na odcinku rzeki o długości 100 m, który zawiera się wewnątrz odcinka 500 m, służącego do badań hydromorfologicznych. Wzajemne usytuowanie odcinków MMOR (makrofitowego) i RHS (hydromorfologicznego) jest ściśle określone (ryc. 6.14.1). Dla każdej Stacji Bazowej ZMŚP ocenie podlegają trzy odcinki badawcze, których dobór opiera się na kryterium reprezentatywności składu botanicznego i warunków ekologicznych występujących w obrębie zlewni objętej ZMŚP. W przypadku badań makrofitów przy wyznaczaniu odcinka badawczego uwzględnia się obfitość występowania roślin wodnych.

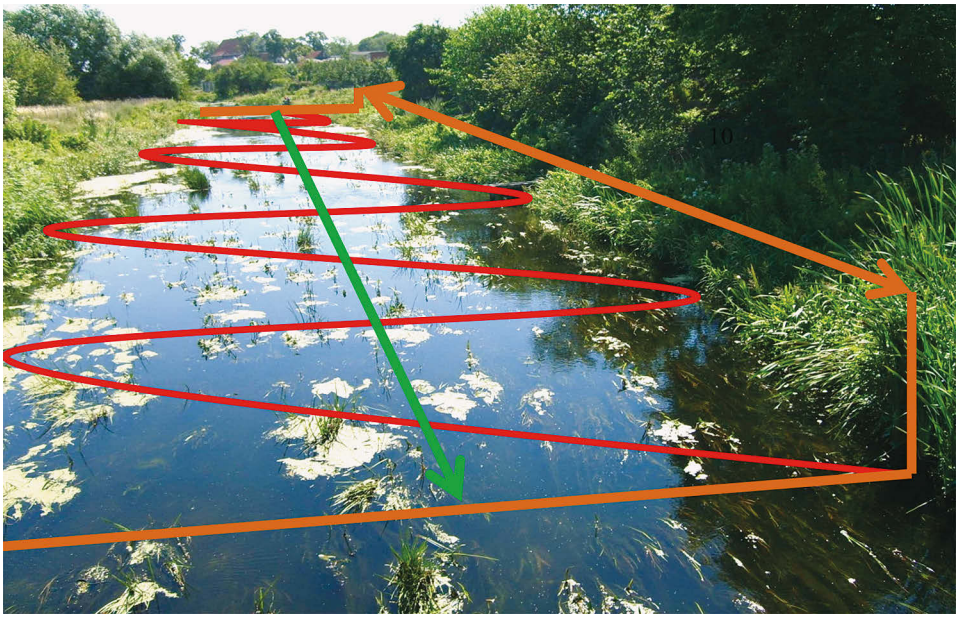


Ryc. 6.14.1. Plan sytuacyjny odcinka badawczego (PK – profil kontrolny) (Szoszkiewicz, Gebler 2011)

6.14.3.2. Metodyka obserwacji

Makrofitowy Indeks Rzeczny

Badania terenowe wykonuje się zgodnie z Makrofitową Metodą Oceny Rzek (MMOR), opracowaną w roku 2006 na zlecenie GIOŚ (Szoszkiewicz i in. 2010, 2020a) oraz zaktualizowaną w roku 2020. Wszystkie rzeki badane w ramach ZMŚP są ciekami niewielkimi, o głębokości koryta umożliwiającej brodzenie w korycie rzecznym, czyli przemieszczanie się trawersem i obserwacje całej szerokość cieku. Procedura terenowa polega na dwukrotnym przejściu całego dystansu badanej rzeki w dwóch kierunkach (ryc. 6.14.2). Wszystkie makrofity rosnące



Ryc. 6.14.2. Schemat wykonania badań makrofitowych w terenie (fot. K. Pietruczuk)

w korycie rzeki odnotowuje się, idąc w górę cieku, dzięki czemu widoczność nie jest ograniczona zmąconymi osadami dennymi. Drugie przejście odcinka badawczego wykonuje się w odwrotnym kierunku, aby z odmiennej perspektywy móc dostrzec występowanie dodatkowych taksonów oraz elementów siedliskowych.

Wyniki obserwacji botanicznych odnotowuje się w protokole terenowym MMOR. Składa się on z dwóch stron: botanicznej oraz siedliskowej. Na pierwszej stronie wykazywane są wszystkie taksony rosnące w wodzie wraz z podaniem ich ilościowości. Oznaczanie większości gatunków wykonywane jest na miejscu w terenie. Zalecane jest pobierane prób roślin trudnych do identyfikacji (np. makroglony, mchy, wątrobowce, rdestnice wąskolistne, turzyce), których oznaczenie wykonywane jest w laboratorium po powrocie z terenu. Wszystkie rośliny naczyniowe oraz mchy powinny być identyfikowane do poziomu gatunku, natomiast makroglony oraz wątrobowce do poziomu rodzaju. Dla każdego z taksonów określony jest stopień pokrycia dna badanego odcinka rzeki według 9-stopniowej skali (tab. 6.14.2). Druga strona protokołu terenowego przeznaczona jest do oceny najważniejszych parametrów siedliskowych, istotnych z punktu widzenia rozwoju makrofitów.

Tabela 6.14.2. Skala ilościowości wykorzystywana do oceny pokrycia roślin

Współczynnik pokrycia	Procentowy udział w pokryciu
1	< 0,1%
2	0,1–1%
3	1–2,5%
4	2,5–5%
5	5–10%
6	10–25%
7	25–50%
8	50–75%
9	75–100%

Ocena stanu ekologicznego

Wykonana w terenie ocena botaniczna pozwala obliczyć Makrofitowy Indeks Rzeczny (MIR), wskazujący stan ekologiczny rzeki. Wykorzystuje się przy tym 189 taksonów wskaźnikowych, w tym: 63 rośliny naczyniowe jednoliścienne, 55 dwuliściennych, 5 paprotników, 27 mchów, 13 wątrobowców, 1 porost, 22 makroglony, 2 sinice i 1 bakterię kolonijną. Pełna lista taksonów wraz z liczbami wskaźnikowymi podana jest w załączniku 6.14.1. Poszczególnym taksonom przypisane są dwie liczby wskaźnikowe. Liczba trofizmu (L) jest powiązana ze średniorocznym stężeniem związków biogennych w wodzie (zwłaszcza fosforu) i wskazuje na optymalny poziom trofii wody, w którym dany takson najlepiej się rozwija. Liczba trofizmu przyjmuje wartości w zakresie od 1 dla wskaźników hipereutrofii do 10 dla oligotrofii. Współczynnik wagowy (W) jest miarą tolerancji ekologicznej taksonu względem trofii wody i wskazuje na zakres zmienności stężeń biogenów w wodzie, w których dany takson występuje. Współczynnik wagowy przyjmuje wartości od 1 dla gatunków eurytroficznych (roślin o szerokiej amplitudzie ekologicznej i przez to o słabej wartości wskaźnikowej) do 3 dla stenotroficznych (roślin o wąskiej amplitudzie ekologicznej i przez to o dużej wartości wskaźnikowej). Makrofitowy Indeks Rzeczny obliczany jest zgodnie z poniższą formułą (Szoszkiewicz i in. 2010):

$$MIR = \frac{\Sigma (L_i + W_i + P_i)}{\Sigma (W_i + P_i)} \cdot 10$$

MIR – Makrofitowy Indeks Rzeczny, *MIR* $\epsilon \langle 10, 100 \rangle$
L_i – liczba trofizmu dla gatunku i, L $\epsilon \langle 1, 10 \rangle$
W_i – współczynnik wagowy dla gatunku i, W $\epsilon \langle 1, 3 \rangle$
P_i – współczynnik pokrycia dla gatunku i, P $\epsilon \langle 1, 9 \rangle$

Obliczony wskaźnik MIR pozwala na ocenę stanu ekologicznego rzeki. Wykorzystuje się system pięciu klas odpowiadający stanom: bardzo dobremu, dobremu, umiarkowanemu, słabemu i złemu. Wartości graniczne MIR są specyficzne dla poszczególnych abiotycznych typów rzek (tab. 6.14.3). W momencie przygotowywania niniejszego opracowania obowiązywało rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie klasyfikacji stanu ekologicznego, potencjału ekologicznego i stanu chemicznego oraz sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych, a także środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz.U. 2019 poz. 2149). Ocenę stanu/potencjału ekologicznego zawsze należy wykonywać w oparciu o obowiązujące rozporządzenie.

Tabela 6.14.3. Wartości graniczne wskaźnika MIR dla pięciu klas stanu ekologicznego w typach abiotycznych rzek

Typ abiotyczny	Kod	Klasa stanu ekologicznego				
		I	II	III	IV	V
Potok tatrzański	PGT	≥ 76,6	≥ 58,5	≥ 40,4	≥ 25,9	< 25,9
Potok sudecki	PGS	≥ 78,8	≥ 60,0	≥ 41,3	≥ 26,3	< 26,3
Potok lub mała rzeka wyżynna na podłożu krzemianowym	RW_krz	≥ 68,8	≥ 52,9	≥ 37,1	≥ 24,5	< 24,5
Potok lub mała rzeka wyżynna na podłożu węglanowym	RW_wap	≥ 64,2	≥ 49,7	≥ 35,2	≥ 23,7	< 23,7
Potok lub mała rzeka fliszowa o charakterze krzemianowym	RWf_krz	≥ 68,8	≥ 52,9	≥ 37,1	≥ 24,5	< 24,5
Potok lub mała rzeka fliszowa o charakterze węglanowym	RWf_wap	≥ 64,2	≥ 49,7	≥ 35,2	≥ 23,7	< 23,7
Średnia rzeka na podłożu krzemianowym	RsW_krz	≥ 52,6	≥ 41,5	≥ 30,5	≥ 21,6	< 21,6
Średnia rzeka na podłożu węglanowym	RsW_wap	≥ 52,6	≥ 41,5	≥ 30,5	≥ 21,6	< 21,6
Potok lub strumień nizinny	PN	≥ 48,3	≥ 37,6	≥ 27,0	≥ 16,4	< 16,4
Potok lub strumień nizinny piaszczysty	PNp	≥ 46,7	≥ 36,8	≥ 27,0	≥ 16,3	< 16,3
Rzeka nizinna	RzN	≥ 45,4	≥ 36,9	≥ 28,5	≥ 20,1	< 20,1
Wielka rzeka nizinna	RwN	wyłączone z monitoringu makrofitów				
Potok lub strumień przyujściowy pod wpływem wód słonych	PN_uj	≥ 46,7	≥ 36,8	≥ 27,0	≥ 16,3	< 16,3

Typ abiotyczny	Kod	Klasa stanu ekologicznego				
		I	II	III	IV	V
Rzeka przyujściowa pod wpływem wód słonych	RzN_uj	≥ 45,4	≥ 36,9	≥ 28,5	≥ 20,1	< 20,1
Potok lub strumień w dolinie o dużym udziale torfowisk	P_org	≥ 45,6	≥ 35,7	≥ 25,8	≥ 15,9	< 15,9
Rzeka w dolinie o dużym udziale torfowisk	Rz_org	≥ 43,2	≥ 35,4	≥ 27,5	≥ 19,7	< 19,7
Potok w systemie rzeczno-jeziorowym pojezierzy	P_poj	≥ 45,6	≥ 35,7	≥ 25,8	≥ 15,9	< 15,9
Potok w systemie rzeczno-jeziorowym pojezierzy łososiowy	Pl_poj	≥ 48,3	≥ 37,6	≥ 27,0	≥ 16,4	< 16,4
Rzeka w systemie rzeczno-jeziorowym pojezierzy	R_poj	≥ 43,2	≥ 35,4	≥ 27,5	≥ 19,7	< 19,7
Rzeka w systemie rzeczno-jeziorowym pojezierzy łososiowa	Rl_poj	≥ 45,4	≥ 36,9	≥ 28,5	≥ 20,1	< 20,1

Inne wskaźniki makrofitowe

Badania MMOR pozwalają na określenie bogactwa gatunkowego i obliczenie innych wskaźników różnorodności biologicznej. Na ich podstawie można wykazać poziom bioróżnorodności, występowanie roślin cennych przyrodniczo oraz stopień zagrożenia ze strony gatunków inwazyjnych. W ramach ZMŚP oceniane są następujące parametry:

- bogactwo gatunkowe – liczba wszystkich gatunków makrofitów występujących na odcinku badawczym MMOR;
- wskaźnik Shannona-Wiennera (H') – ogólny wskaźnik różnorodności biologicznej, uwzględniający liczbę gatunków wraz z ich udziałem, obliczany zgodnie ze wzorem:

$$H' = -\sum (p_i \cdot \ln p_i);$$

- wskaźnik równomierności Pielou (J) – obliczany zgodnie ze wzorem:

$$J = H' / \ln S;$$

- liczba i udział gatunków chronionych, według obowiązującego rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie ochrony gatunkowej roślin;
- liczba i udział gatunków obcych.

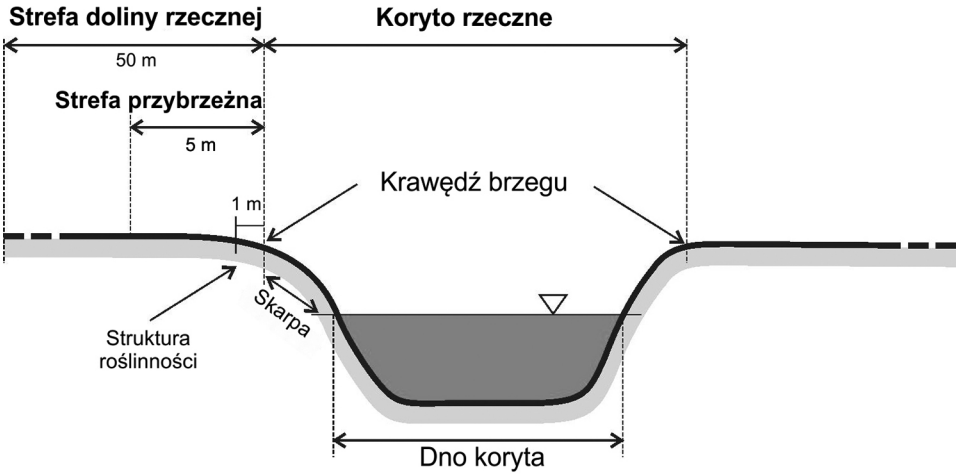
Hydromorfologiczny Indeks Rzeczny

Badania hydromorfologii rzek prowadzone są w oparciu o Hydromorfologiczny Indeks Rzeczny (HIR). Metoda ta została opracowana w roku 2016 na zlecenie GIOŚ (Szoszkiewicz i in. 2017, 2020b). Umożliwia ona szczegółowy opis koryta rzecznego, strefy przybrzeżnej oraz w pewnym stopniu także doliny rzecznej. Ocena wód płynących w oparciu o HIR jest zgodna z wymaganiami Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN (Comiteé Européen de Normalisation) odno-

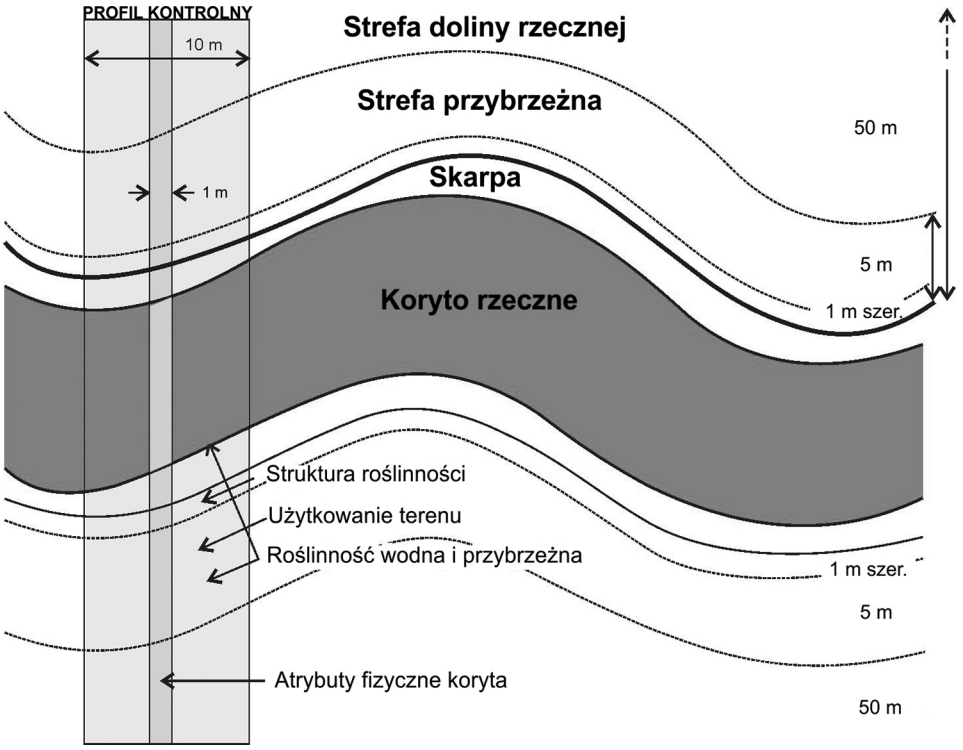
szącymi się do Ramowej Dyrektywy Wodnej. Opracowana metodyka składająca się z części terenowej oraz kameralnej jest w pełni zgodna z normą EN 14614: 2004 (*Water quality – Guidance standard on determining the degree of modification of river hydromorphology*) oraz jej polskim odpowiednikiem, tj. PN-EN–14614: 2008 („Jakość wody – Wytyczne do oceny hydromorfologicznych cech rzek").

Podstawą metody HIR są badania terenowe, które muszą być uzupełnione analizą kameralną baz danych przestrzennych (np. Bazy Przekształceń Hydromorfologicznych HYMO, Mapy Podziału Hydrograficznego Polski – MPHP, Bazy Danych Obiektów Topograficznych – BDOT) oraz ortofotomap.

Badania terenowe w rzekach o szerokości koryta ≤ 30 m, obejmujących wszystkie cieki oceniane w ramach ZMŚP, przeprowadza się na odcinkach badawczych o długości 500 m. Badania terenowe pozwalają scharakteryzować trzy strefy: koryto rzeczne, strefę przybrzeżną oraz dolinę rzeki (ryc. 6.14.3). W trakcie badania wykonuje się ocenę 10 profili kontrolnych. Profile te rozmieszczone są równomiernie w odległości 50 m od siebie. Na każdym z nich badane są cechy morfologiczne koryta, m.in. takie jak: rodzaj materiału dna i skarp brzegowych, typy nurtu, występowanie umocnień oraz elementów antropogenicznych i naturalnych elementów hydromorfologicznych zwiększających mozaikowatość koryta. Uwzględnia się także rodzaj roślinności występującej w wodzie, użytkowanie terenu w odległości do 50 m od krawędzi brzegu, strukturę roślinności na skarpie i w strefie przybrzeżnej. Parametry abiotyczne oceniane są w transektach o szerokości 1 m, natomiast parametry biotyczne i związane z użytkowaniem terenu w transektach o szerokości 10 m (ryc. 6.14.4). Po wykonaniu badań w profilach kontrolnych przeprowadza się podsumowanie całego odcinka (500 m), uwzględniając również elementy, których nie stwierdzono w profilach kontrolnych.



Ryc. 6.14.3. Trzy strefy oceny rzek w metodzie HIR (Szoszkiewicz i in. 2017, zmodyfikowane)



Ryc. 6.14.4. Schemat badań terenowych metodą HIR na pojedynczym profilu kontrolnym (Szoszkiewicz i in. 2017, zmodyfikowane)

Na podstawie danych zebranych w terenie oblicza się dwa syntetyczne wskaźniki: Wskaźnik Różnorodności Hydromorfologicznej (WRH_t) oraz Wskaźnik Przekształcenia Hydromorfologii (WPH_t). Są one sumą wielu parametrów uwzględnionych w systemie i pozwalają przedstawić stan hydromorfologiczny badanego odcinka rzecznego w formie liczbowej. Na ich podstawie oblicza się multimetriks *HIR*, który umożliwia zaklasyfikowanie badanego odcinka do jednej z pięciu klas stanu hydromorfologicznego (tab. 6.14.4):

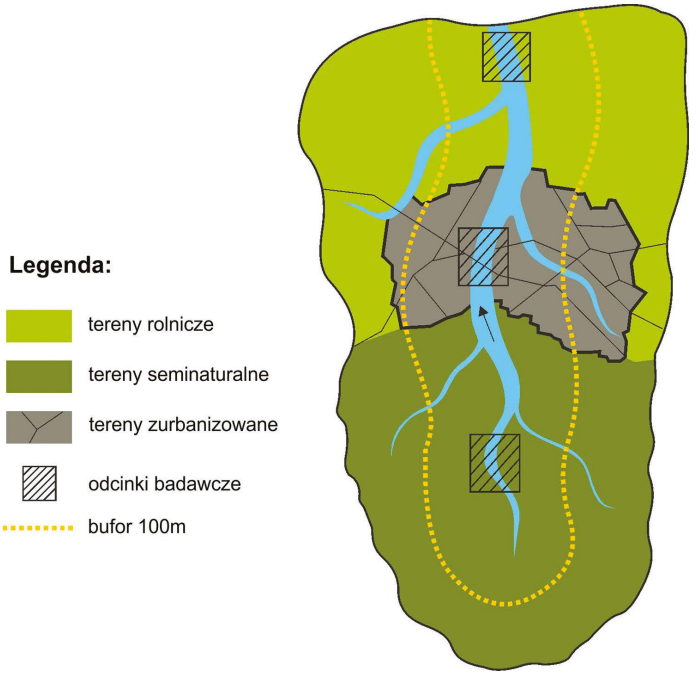
$$HIR = \frac{(WRH_t - WPH_t)/100 + 0{,}85}{1{,}8}$$

HIR – Hydromorfologiczny Indeks Rzeczny,
WRH_t – Wskaźnik Różnorodności Hydromorfologicznej na podstawie oceny terenowej,
WPH_t – Wskaźnik Przekształcenia Hydromorfologii na podstawie oceny terenowej.

Badania prowadzone na jednym odcinku badawczym pozwalają na ocenę i klasyfikację stanu hydromorfologicznego tego odcinka. Ocena stanu całych JCWP lub zlewni badawczych wymaga wyznaczenia 1–3 stanowisk badawczych,

Tabela 6.14.4. Wartości graniczne multimetriksu *HIR* dla pięciu klas stanu hydromorfologicznego (Szoszkiewicz i in. 2017, zmienione)

Typ hydromorf.	Typy abiotyczne rzek (pełne nazwy w tab. 6.14.3)	Szer. koryta rzeki	Wartości graniczne HIR właściwe dla klasy				
			I	II	III	IV	V
H1	PGT, PGS, RW_krz, RW_wap, RWf_krz, RWf_wap, RsW_krz, RsW_wap	≤ 30 m	≥ 0,824	≥ 0,715	≥ 0,600	≥ 0,485	< 0,485
H2	PN, PNp, RzN, PN_uj, RzN_uj, Pl_poj, Rl_poj		≥ 0,761	≥ 0,639	≥ 0,500	≥ 0,375	< 0,375
H3	P_org, Rz_org, P_poj, R_poj		≥ 0,725	≥ 0,592	≥ 0,459	≥ 0,326	< 0,326
H4	RwN, RsW_krz, RsW_wap, RzN, RzN_uj, Rz_org, R_poj, Rl_poj	> 30 m	≥ 0,728	≥ 0,613	≥ 0,486	≥ 0,359	< 0,359
H5	Sztuczne kanały	–	≥ 0,513	≥ 0,420	≥ 0,342	≥ 0,253	< 0,253



Ryc. 6.14.5. Schemat rozmieszczenia odcinków badawczych w terenie, w obrębie JCWP, zależny od sposobu użytkowania terenu w buforze (Szoszkiewicz i in. 2017)

w zależności od różnorodności sposobu zagospodarowania doliny rzecznej (ryc. 6.14.5). Do oceny sposobu użytkowania terenu obligatoryjnie wykorzystuje się Bazę Danych Obiektów Topograficznych (BDOT) oraz pomocniczo warstwę jeziora z Mapy Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP), dla odróżnienia stawów

rybnych od pozostałych zbiorników wodnych. Trzy wyróżniane typy terenu obejmują następujące klasy obiektów z geobazy BDOT:

- tereny seminaturalne – lasy i zadrzewienia (PTLZ), zakrzewienia (PTRK), wody powierzchniowe inne niż stawy rybne (PTWP), mokradła (OIMK), szuwary (OISZ), rumowiska skalne, nieużytkowane tereny kamieniste i piaszczyste (PTGN);
- tereny rolnicze – uprawy na gruntach ornych, użytki zielone (PTTR), uprawy trwałe (PTUT) oraz stawy rybne (PTWP);
- tereny zurbanizowane – zabudowa (PTZB), place (PTPL), tereny przemysłowo-składowe i pod urządzeniami technicznymi (PTNZ), tereny komunikacyjne (PTKM), składowania odpadów (PTSO), wyrobiska i zwałowiska pokopalniane (PTWZ).

W przypadku Stacji Bazowych ZMŚP ocenie podlegają zawsze trzy odcinki badawcze, niezależnie od zróżnicowania sposobu użytkowania doliny rzecznej. Stan hydromorfologiczny zlewni jest obliczany jako średnia z cząstkowych ocen stanu hydromorfologicznego, które zostały wykonane w terenie. Jest to średnia ważona, która uwzględnia udział poszczególnych typów użytkowania terenu w buforze o szerokości 100 m od brzegów.

Metoda kameralna umożliwia ocenę elementów hydromorfologicznych całej zlewni w oparciu o bazy danych przestrzennych oraz ortofotomapy. Ocena uwzględnia: morfologię koryta i doliny, ciągłość podłużną cieku (z uwzględnieniem sztucznych barier), strukturę użytkowania strefy przybrzeżnej i doliny oraz modyfikacje brzegów i strefy dolinowej. W celu oceny stopnia naturalności rzeki i jej doliny oraz stopnia ich przekształcenia wprowadzono podobnie jak w metodzie terenowej dwa wskaźniki syntetyczne: Wskaźnik Różnorodności Hydromorfologicznej (WRH_k) oraz Wskaźnik Przekształcenia Hydromorfologii (WPH_k). Na ich podstawie wyliczany jest współczynnik korekty klasy stanu hydromorfologicznego na podstawie oceny kameralnej (*Wk*), wyskalowany od 0 (skrajne przekształcenie hydromorfologiczne) do 1 (wartość referencyjna). Współczynnik ten (*Wk*) oblicza się zgodnie z poniższym wzorem:

$$Wk = \frac{(WRH_k - WPH_k)/10 + 1{,}2}{3}$$

Wk – współczynnik korekty klasy stanu hydromorfologicznego na podstawie oceny kameralnej,

WRH_k – Wskaźnik Różnorodności Hydromorfologicznej na podstawie oceny kameralnej,

WPH_k – Wskaźnik Przekształcenia Hydromorfologii na podstawie oceny kameralnej.

Efektem oceny terenowej jest Hydromorfologiczny Indeks Rzeczny (*HIR*), natomiast wynikiem oceny kameralnej jest współczynnik korekty klasy stanu hydromorfologicznego (*Wk*), który może podwyższyć lub obniżyć o jeden klasę wynikającą z oceny terenowej, zgodnie z poniższym schematem (tab. 6.14.5).

Tabela 6.14.5. Korekta klasy stanu hydromorfologicznego na podstawie wyników oceny kameralnej (Szoszkiewicz i in. 2017)

Klasa stanu hydromorfologicznego na podstawie oceny terenowej (multimetriksu HIR)	Wk na podstawie oceny kameralnej		
	≤ 0,4	0,4–0,6	> 0,6
1	2	1	1
2	3	2	1
3	4	3	2
4	5	4	3
5	5	5	4

River Habitat Survey (RHS)

Badania hydromorfologii rzek w oparciu o metodę River Habitat Survey (RHS), prowadzone są w ramach ZMŚP od roku 2015 (Environment Agency 2007). Wykonuje się je według polskiej wersji metody RHS opracowanej przez Szoszkiewicza i in. (2012). Metoda ta, podobnie jak HIR, umożliwia szczegółową waloryzację parametrów hydromorfologicznych koryta rzecznego, strefy przybrzeżnej i doliny rzecznej. Metoda RHS oparta jest na wizualnej inwentaryzacji prowadzonej w terenie. Badania tą metodą wykonywane są w dwóch etapach na odcinku o długości 500 m (Szoszkiewicz i in. 2012). Sposób prowadzenia badań w terenie jest analogiczny jak w przypadku metody HIR. Podczas badań metodą RHS dodatkowo weryfikowane jest występowanie gatunków roślin inwazyjnych (również w obrębie doliny rzecznej), cennych przyrodniczo elementów środowiska oraz presji antropogenicznych, które powodują degradację środowiska rzecznego. Dane terenowe pozyskane według metodyki RHS pozwalają na ocenę stanu hydromorfologicznego za pomocą dwóch wskaźników:

- wskaźnika naturalności siedliska (Habitat Quality Assessment – HQA),
- wskaźnika przekształcenia siedliska (Habitat Modification Score – HMS).

Wskaźniki te w sposób syntetyczny grupują kilkadziesiąt parametrów zarejestrowanych w metodzie RHS, które odnoszą się do koryta, brzegów i terenów położonych w pobliżu cieku. Wysokie wartości pierwszego z nich świadczą m.in. o znacznej liczbie naturalnych elementów morfologicznych i dużej heterogenności siedliska rzecznego, natomiast wysokie wartości drugiego – o dużej liczbie antropogenicznych elementów, świadczących o przekształceniu rzeki (Szoszkiewicz

Tabela 6.14.6. Klasy stanu hydromorfologicznego polskich rzek na podstawie wskaźników HQA i HMS (Jusik, Szoszkiewicz 2009)

Kategorie wartości wskaźnika HMS	Kategorie wartości wskaźnika HQA				
	HQA ≥ 57	HQA 50–56	HQA 37–49	HQA 30–36	HQA ≤ 30
Nieprzekształcony (HMS 0–2)	I	II	II	III	III
Słabo przekształcony (HMS 3–8)	II	II	III	III	IV
Umiarkowanie przekształcony (HMS 9–20)	III	III	III	IV	IV
Znacząco przekształcony (HMS 21–44)	III	IV	IV	IV	V
Silnie przekształcony (HMS ≥ 45)	IV	IV	V	V	V

i in. 2012). Dzięki tym wskaźnikom możliwe jest określenie klasy stanu hydromorfologicznego siedliska rzecznego w odniesieniu do pięciostopniowej skali zaproponowanej przez Walkera i in. (2002), a opracowanej dla polskich rzek przez Jusika i Szoszkiewicza (2009) (tab. 6.14.6).

6.14.4. Kontrola i weryfikacja danych

Badania terenowe i obliczenia wykonywane są przez zespół Katedry Ekologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Członkowie zespołu są twórcami stosowanej metody oceny rzek na podstawie makrofitów oraz metodyki oceny wód płynących w oparciu o Hydromorfologiczny Indeks Rzeczny, a także polskiej wersji podręcznika do metody River Habitat Survey. Prace terenowe realizowane są w dwuosobowych zespołach badawczych lub w przypadku zespołu jednoosobowego są weryfikowane przez pozostałych członków zespołu.

6.14.5. Raportowanie danych do bazy danych

Raportowanie przeprowadza się po zakończeniu prac terenowych i wykonaniu analiz kameralnych. Zakres raportowanych parametrów pomiarowych w ramach programu I1 wraz z ich kodem, jednostką i dokładnością podano w tabeli 6.14.1, a przykład zapisu danych w bazie danych podano w tabeli 6.14.7.

Literatura

Environment Agency, 2003. River Habitat Survey in Britain and Ireland – Field Survey Guidance Manual: 2003 Version. Environment Agency, Warrington.

Jusik S., Szoszkiewicz K., 2009. Zastosowanie systemu River Habitat Survey (RHS) w ocenie warunków hydromorfologicznych wód płynących w Polsce. Wiad. Mel. i Łąk., 3(422): 106–110.

Jusik S., Szoszkiewicz K., Kupiec J.M., Lewin I., Samecka-Cymerman A., 2015. Development of comprehensive river typology based on macrophytes in the mountain-lowland gradient of different Central European ecoregions. Hydrobiologia, 745(1): 241–262.

Szoszkiewicz K., Gebler D., 2012. Polska wersja systemu oceny stanu hydromorfologicznego rzek River Habitat Survey – nowe zastosowania w praktyce. Gospodarka Wodna, 4: 141–146.

Szoszkiewicz K., Jusik S., Gebler D., Achtenberg K., Adynkiewicz-Piragas M., Radecki-Pawlik A., Okruszko T., Giełczewski M., Marcinkowski P., Pietruczuk K., Przesmycki M., Nawrocki P., Chmist J., Szostak M., 2020b. Hydromorphological Index for Rivers (HIR): a new method for hydromorphological assessment and classification for flowing waters in Poland. Journal of Ecological Engineering, w druku po recenzji.

Szoszkiewicz K., Jusik S., Pietruczuk K., Gebler D., 2020a. The Macrophyte Index for Rivers (MIR) as an Advantageous Approach to Running Water Assessment in Local Geographical Conditions. Water, 12: 108.

Szoszkiewicz K., Zbierska J., Jusik S., Zgoła T., 2010. Makrofitowa metoda oceny rzek. Podręcznik metodyczny do oceny i klasyfikacji stanu ekologicznego wód płynących w oparciu o rośliny wodne. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.

Tabela 6.14.7. Zapis danych w bazie danych, program I1 – Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
I1	XXZM	KE	052				2018-07-02	1	ES	ZM	3							[–]	
I1	XXZM	KE	052				2018-07-02	1	HMSIX	ZM	51							[–]	
I1	XXZM	KE	053				2018-07-02	1	HQAIX	ZM	37							[–]	
I1	XXZM	KE	053				2018-07-02	1	HS	ZM	4							[–]	
I1	XXZM	KE	053				2018-07-02	1	MIRIX	ZM	27,9							[–]	
I1	XXZM	KE	053				2018-07-02	1	NSPEC_I	ZM	0							[–]	
I1	XXZM	KE	053				2018-07-02	1	SPEC_RICH	ZM	32							[–]	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na tanowiskach), E (ME) – kod medium, pole niewykorzystywane w tym programie, F (LM) – kod listy medium, pole niewykorzystywane w tym programie, G (POZ) – poziom, pole niewykorzystywane w tym programie, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-DD, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru – oznacza ilość pojedynczych punktów pomiarowych, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole niewykorzystywane w tym programie, O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole niewykorzystywane w tym programie, P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, pole niewykorzystywane w tym programie, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole niewykorzystywane w tym programie, R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole niewykorzystywane w tym programie, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole niewykorzystywane w tym programie.

Szoszkiewicz K., Zgoła T., Jusik S., Hryc-Jusik B., Dawson F.H., Raven P., 2012. Hydromorfologiczna ocena wód płynących. Podręcznik do badań terenowych według metody River Habitat Survey w warunkach Polski. Wyd. 7 (zmienione). Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań–Warrington.

Walker J., Diamond M., Naura M., 2002. The development of physical quality objectives for rivers in England and Wales. Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems, 12: 381–390.

Załącznik 6.14.1. Lista taksonów wskaźnikowych indeksu MIR (wersja 2020)

Takson	MIR	
	L	W
PROKARIONTY		
Lyngbya sp.	6	2
Phormidium sp.	7	2
Sphaerotilus natans [1]	1	3
GLONY		
Audouinella sp.	7	2
Batrachospermum sp.	6	2
Chaetophora sp.	7	2
Chara sp.	6	2
Cladophora sp.	2	1
Didymosphenia geminata	7	3
Hildenbrandia rivularis	6	2
Hydrodictyon reticulatum	4	2
Hydrurus foetidus	9	2
Lemanea fluviatilis	9	3
Melosira sp.	4	2
Microspora sp.	3	1
Mougeotia sp.	6	1
Nitella sp.	6	2
Oedogonium sp.	3	1
Rhizoclonium sp.	1	2
Spirogyra sp.	5	1
Stigeoclonium sp.	2	1
Tetraspora gelatinosa	5	2
Ulothrix sp.	4	1
Ulva sp. [2]	1	2
Vaucheria sp.	2	1
POROSTY		
Collema sp.	10	3
WĄTROBOWCE		
Aneura pinguis	7	2
Chiloscyphus sp.	7	2
Conocephalum sp.	7	2
Jungermannia sp.	9	1
Marchantia aquatica	5	1
Marsupella sp.	10	3
Nardia sp.	10	3
Pellia sp.	7	2
Porella cordeana	8	2
Riccardia sp.	7	2
Riccia fluitans	5	3
Scapania sp.	8	2
Trichocolea tomentella	8	2
MCHY		
Andreaea sp.	10	2
Blindia acuta	9	2
Brachythecium rivulare	7	1
Bryum sp.	8	2
Calliergonella cuspidata	7	2
Codriophorus sp.	10	2
Cratoneuron filicinum	8	1
Dichodontium pellucidum	8	1
Fissidens sp.	7	2
Fontinalis antipyretica	6	2
Fontinalis squamosa	8	2
Hygroamblystegium sp.	5	1
Hygrohypnum duriusculum	8	1
Hygrohypnum luridium	8	2
Hygrohypnum molle	10	2
Hygrohypnum ochraceum	8	1
Leptodictyum riparium	3	1
Oxyrrhynchium speciosum	5	2

Takson	MIR	
	L	W
Palustriella communata	9	3
Philonotis sp.	10	2
Platyhypnidium riparioides	6	1
Schistidium sp.	9	2
Sciuro-hypnum plumosum	9	2
Sphagnum sp.	8	1
Straminergon stramineum	7	1
Thamnobryum alopecurum [3]	8	2
Warnstorfia fluitans	7	2
PAPROTNIKI		
Azolla filiculoides	3	2
Equisetum fluviatile	5	2
Equisetum palustre	5	1
Salvinia natans	5	3
Thelypteris palustris	7	3
DWULIŚCIENNE		
Batrachium aquatile [4]	6	2
Batrachium circinatum [5]	6	2
Batrachium fluitans [6]	6	3
Batrachium peltatum [7]	4	2
Batrachium penicillatum	6	2
Batrachium trichophyllum [8]	6	3
Berula erecta	5	2
Bidens cernua	3	2
Bidens frondosa	3	1
Bidens tripartita	3	1
Callitriche hamulata	6	3
Callitriche sp. [9]	4	1
Cardamine amara	5	2
Caltha palustris	6	2
Ceratophyllum demersum	1	2
Ceratophyllum submersum	1	1
Cicuta virosa	5	2
Comarum palustre [10]	7	3
Hippuris vulgaris	5	1
Hottonia palustris	6	2
Hydrocotyle vulgaris	4	1
Lycopus europaeus	4	1
Lysimachia nummularia	5	1
Lysimachia thyrsiflora	6	3
Lysimachia vulgaris	4	2

Takson	MIR	
	L	W
Mentha aquatica	5	2
Menyanthes trifoliata	7	3
Mimulus guttatus	5	1
Montia fontana	8	2
Myosotis palustris	4	1
Myriophyllum alterniflorum	6	2
Myriophyllum spicatum	5	2
Myriophyllum verticillatum	5	2
Nasturtium officinale	5	2
Nuphar lutea	4	2
Nymphaea alba	6	3
Oenanthe aquatica	4	1
Petasites sp.	5	1
Peucedanum palustre	4	1
Polygonum amphibium	3	1
Polygonum hydropiper	3	1
Polygonum persicaria	2	2
Ranunculus flammula	8	2
Ranunculus lingua	7	2
Ranunculus sceleratus	1	1
Rorippa amphibia	2	1
Rumex hydrolapathum	3	1
Scrophularia umbrosa	4	2
Sium latifolium	5	2
Stachys palustris	3	1
Utricularia vulgaris	5	2
Veronica anagallis-aquatica	4	2
Veronica beccabunga	5	1
Veronica catenata	5	2
Veronica scutellata	7	2
JEDNOLIŚCIENNE		
Acorus calamus	3	2
Agrostis stolonifera	5	1
Alisma lanceolatum	2	2
Alisma plantago-aquatica	3	2
Alopecurus geniculatus	5	2
Bolboschoenus maritimus [11]	3	3
Butomus umbellatus	4	2
Calla palustris	6	2
Carex acutiformis	5	2
Carex gracilis [12]	5	2

Takson	MIR	
	L	W
Carex elata	6	2
Carex paniculata	6	3
Carex pseudocyperus	4	1
Carex riparia	4	2
Carex rostrata	5	2
Carex vesicaria	4	1
Catabrosa aquatica	5	2
Cladium mariscus	6	2
Cyperus fuscus	2	2
Eleocharis palustris	5	2
Elodea canadensis	4	1
Elodea nuttallii	3	1
Glyceria fluitans	4	1
Glyceria maxima	3	1
Glyceria notata [13]	5	2
Hydrocharis morsus-ranae	4	2
Iris pseudacorus	4	1
Juncus articulatus	7	1
Juncus bulbosus	8	2
Leersia oryzoides	4	1
Lemna gibba	1	2
Lemna minor	1	1
Lemna trisulca	4	2
Phalaris arundinacea	2	1
Potamogeton acutifolius	5	2
Potamogeton alpinus	7	2
Potamogeton berchtoldii	5	2

Takson	MIR	
	L	W
Potamogeton compressus	4	3
Potamogeton crispus	2	1
Potamogeton friesii	4	2
Potamogeton gramineus	7	2
Potamogeton lucens	5	2
Potamogeton natans	4	2
Potamogeton nodosus	4	2
Potamogeton obtusifolius	5	3
Potamogeton pectinatus	1	1
Potamogeton perfoliatus	5	2
Potamogeton praelongus	7	2
Potamogeton pusillus	4	3
Potamogeton trichoides	3	3
Sagittaria sagittifolia	3	2
Schoenoplectus lacustris [14]	4	2
Scirpus sylvaticus	4	1
Sparganium angustifolium	7	3
Sparganium emersum	3	1
Sparganium erectum	3	1
Sparganium minimum	5	2
Spirodela polyrhiza	2	2
Stratiotes aloides	5	3
Typha angustifolia	4	2
Typha latifolia	3	1
Wolffia arhiza	3	1
Zannichellia palustris	3	2

[1] także inne bakterie nitkowate, tworzące makroskopowe kolonie w zanieczyszczonych wodach, tzw. „grzyb ściekowy"
[2] *Ulva* sp. = *Enteromorpha* sp.
[3] *Thamnobryum alopecurum* = *Thamnium alopecurum*
[4] *Batrachium aquatile* = *Ranunculus aquatilis*
[5] *Batrachium circinatum* = *Ranunculus circinatus*
[6] *Batrachium fluitans* = *Ranunculus fluitans*
[7] *Batrachium peltatum* = *Ranunculus peltatus*
[8] *Batrachium trichophyllum* = *Ranunculus trichoplyllus*
[9] gatunki inne niż *Callitriche hamulata*
[10] *Comarum palustre* = *Potentilla palustris*
[11] *Bolboschoenus maritimus* = *Scirpus maritimus*
[12] *Carex gracilis* = *Carex acuta*
[13] *Glyceria notata* = *Glyceria plicata*
[14] *Schoenoplectus lacustris* = *Scirpus lacustris*

6.15. Program J2 – Struktura i dynamika szaty roślinnej (powierzchnie stałe)

Julian Chmiel, Zbigniew Celka, Bogdan Jackowiak

**Zakład Botaniki Systematycznej i Środowiskowej,
Wydział Biologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu**

6.15.1. Wprowadzenie, cel pomiarów

Głównym celem programu pomiarowego J2 jest raportowanie dynamiki zbiorowisk leśnych, przyrostów masy drzewnej, zasobności biomasy martwego drewna (zakres podstawowy, obligatoryjny) oraz stanu populacji gatunków roślin naczyniowych tworzących warstwę runa leśnego (część rozszerzona, fakultatywna programu).

Obowiązująca metodyka prowadzenia pomiarów w ramach programu J2 stanowi kompilację koncepcji opracowanej przez Jackowiaka (1994, npbl.) i opublikowanej następnie w wydaniu 1 i 2 opracowania pt. „Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań" (Kostrzewski i in. 1995, Jackowiak 2006) oraz zaleceń Integrated Monitoring (Manual 1998).

Pełna interpretacja parametrów opisujących zmiany w monitorowanych zbiorowiskach leśnych oraz wyników pomiarów realizowanych w ramach programu J2 możliwa jest po uwzględnieniu pomiarów wykonanych w ramach innych programów badawczych wykonywanych przez Stacje Bazowe ZMŚP. Szczególnie istotne w tym względzie będą wyniki pomiarowe programów: A1 – Meteorologia, B1 – Zanieczyszczenie powietrza, C1 – Chemizm opadów atmosferycznych, E1 – Gleby, F2 – Wody podziemne, J3 – Monitoring gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – rośliny, K1 – Uszkodzenia drzew i drzewostanów.

6.15.2. Zakres parametrów pomiarowych

6.15.2.1. Zakres podstawowy (obligatoryjny): parametry określające wielkość zasobów biomasy drzew i martwego drewna oraz opisujące dynamikę struktury zbiorowisk roślinnych

Zgodnie z rekomendacjami Integrated Monitoring w programie J2 uwzględnione są następujące parametry opisujące dynamikę miąższości drzew żywych i drewna martwego (tab. 6.15.1):

- liczba żywych egzemplarzy gatunków drzew według warstw T1 i T2 (gatunkami) [NUM_L_T, NUM_L_T1, NUM_L_T2, NUM_L_S];
- średnica pnia w pierśnicy (na wys. 1,3 m) każdego drzewa żywego według gatunków i warstw T lub T1 i T2 [DBH_L_T, DBH_L_T1, DBH_L_S];

- zestawienie drzew żywych w warstwie T1 i T2 według gatunków i klas średnicy pnia w pierśnicy (na wys. 1,3 m) (klasa 0 = 0–4 cm, 5 = 5–9 cm, 10 = 10–14 cm, 15 = 15–19 cm itp.) [NUM_LD_T, LNUM_LD _T1, NUM_LD _T2, NUM_LD_S];
- wartość średnia średnicy pnia w pierśnicy (na wys. 1,3 m) żywych egzemplarzy drzew w warstwie T1 i T2 według gatunków [DBH_LM_T, DBH_LM_T1, DBH_LM_S];
- liczba martwych egzemplarzy drzew stojących w warstwie T1 i T2 według gatunków (o ile możliwa jest identyfikacja) [NUM_DD_T, NUM_DD_T1, NUM_DD_S];
- miąższość zasobów martwego drewna – drzewa stojące w warstwie T1 i T2 (gatunkami, o ile możliwa jest identyfikacja) [DBH_D_T, DBH_D_T1, DBH_D_T2];
- liczba kłód leżących według gatunków (o ile możliwa jest identyfikacja) i klas średnicy pnia w pierśnicy o średnicy > 10 cm [NUM_FD];
- miąższość zasobów martwego drewna – kłody o średnicy > 10 cm w pierśnicy leżące na dnie lasu (gatunkami, o ile możliwa jest identyfikacja) [DBH_FD].

Ze względu na problemy techniczne w pomiarach wysokości drzew (słaba widoczność wierzchołków poszczególnych egzemplarzy drzew) i średnicy koron (przesłanianie konturów koron warstwy T1 przez korony drzew tworzących warstwę T2) zrezygnowano z tych parametrów.

Do opisu struktury zbiorowisk roślinnych wykorzystano następujące parametry (tab. 6.15.1):

- pokrycie przez niezróżnicowaną warstwę drzew T [COVE_T] lub podwarstwy T1 i T2 (> 5 m wysokości) [COVE_T1, COVE_T2]
- pokrycie przez warstwę krzewów i podrost gatunków drzewiastych S (od 0,5 do 5 m wysokości) [COVE_S];
- pokrycie łączne przez gatunki zielne, krzewinki i nalot gatunków drzewiastych i krzewiastych (< 0,5 m wysokości) tworzące warstwę F [COVE_F];
- pokrycie przez warstwę naziemnych mchów i porostów B [COVE_B];
- pokrycie przez ściółkę L [COVE_L];
- współczynnik pokrycia każdego gatunku w skali Braun-Blanqueta w danej warstwie [COVE_BB_(k)], gdzie k = T, T1, T2, S lub F;
- liczba gatunków o ilościowości < 1% (w skali Braun-Blanqueta = „r" i „+") w danej warstwie [NSPEC_BBr];
- liczba gatunków o ilościowości > 25% (w skali Braun-Blanqueta od 3 do 5) w danej warstwie [NSPEC_BBc];
- ogólna liczba gatunków [NSPEC];
- struktura flory: liczba gatunków reprezentujących formy życiowe Raunkiaera we florze kwadratu [VG_NRAUNK];
- struktura flory: liczba gatunków reprezentujących grupy geograficzno-historyczne we florze kwadratu [VG_NGH];
- struktura flory: liczba gatunków starych lasów we florze kwadratu [VG_NSPEC_OF];

- struktura flory: liczba grup systematycznych we florze kwadratu – rodzaje [VG_NGENUS];
- struktura flory: liczba grup systematycznych we florze kwadratu – rodziny [VG_NFAMILY].

Całkowite pokrycie powierzchni wyrażone odsetkiem zacienionej powierzchni (%) przez rośliny tworzące warstwę drzew [COVE_T, COVE_T1, COVE_T2], krzewów [COVE_S] i runa [COVE_F] odnosi się do pionowego rzutu ich nadziemnych części (powierzchnia cienia rzucanego, gdy słońce jest w zenicie). Uwzględniać należy jedynie ten „cień", który rzucany jest na powierzchnię poletka pionowo, także przez rośliny rosnące poza jego obrębem.

Tabela 6.15.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego J2 – Struktura i dynamika szaty roślinnej

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstość pomiarów
1 powierzchnia 40 × 40 m (= ∑4 powierzchni 20 × 20 m)				
Liczba żywych egzemplarzy gatunków drzew wg warstw T1, T2 i S (dotyczy tylko złamanych na wysokości < 5 m żywych pni drzew, które przed uszkodzeniem tworzyły warstwę T, T1 lub T2) (gatunkami)	NUM_L_T NUM_L_T1 NUM_L_T2 NUM_L_S	LM	trees	1/3 lata
Średnica pnia w pierśnicy (na wys. 1,3 m) każdego drzewa żywego wg gatunków i warstw T lub T1 i T2 oraz S (dotyczy tylko złamanych na wysokości < 5 m żywych pni drzew, które przed uszkodzeniem tworzyły warstwę T, T1 lub T2)	DBH_L_T DBH_L_T1 DBH_L_T2 DBH_L_S	IM	cm, 0	
Zestawienie drzew żywych w warstwie T1 i T2 oraz S (dotyczy tylko złamanych na wysokości < 5 m żywych pni drzew, które przed uszkodzeniem tworzyły warstwę T, T1 lub T2) S wg gatunków i klas średnicy pnia w pierśnicy (na wys. 1,3 m) (klasa 0 = 0–4 cm, 5 = 5–9 cm, 10 = 10–14 cm, 15 = 15–19 cm itp.)	NUM_LD_T NUM_LD_T1 NUM_LD_T2 NUM_LD_S	IM	trees	
Wartość średnia średnicy pnia w pierśnicy (na wys. 1,3 m) żywych egzemplarzy drzew w warstwie T1, T2 oraz S (dotyczy tylko złamanych na wysokości < 5 m żywych pni drzew, które przed uszkodzeniem tworzyły warstwę T, T1 lub T2) wg gatunków	DBH_LM_T DBH_LM_T1 DBH_LM_T2 DBH_LM_S	ZM	cm, 0	

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstość pomiarów
Liczba martwych egzemplarzy drzew stojących w warstwie T1 i T2 oraz S (dotyczy tylko złamanych na wysokości < 5 m martwych pni drzew, które przed złamaniem tworzyły warstwę T, T1 lub T2) wg gatunków (o ile możliwa jest identyfikacja)	NUM_DD_T NUM_DD_T1 NUM_DD_T2 NUM_DD_S	IM	trees	1/3 lata
Miąższość zasobów martwego drewna – drzewa stojące w warstwie T1 i T2 oraz S (dotyczy tylko złamanych na wysokości < 5 m martwych pni drzew, które przed złamaniem tworzyły warstwę T, T1 lub T2) (gatunkami, o ile możliwa jest identyfikacja)	DBH_D_T DBH_D_T1 DBH_D_T2 DBH_D_S	IM	m^3	
Liczba kłód leżących wg gatunków (o ile możliwa jest identyfikacja) i klas średnicy pnia w pierśnicy o średnicy > 10 cm	NUM_FD	IM	trees	
Miąższość zasobów martwego drewna – kłody o średnicy > 10 cm leżące na dnie lasu (gatunkami, o ile możliwa jest identyfikacja)	DBH_FD	IM	m^3	
Rozdzielnie 4 powierzchnie 20 × 20 m				
Pokrycie przez niezróżnicowaną warstwę drzew T lub podwarstwy T1 i T2 (> 5 m wysokości)	COVE_T COVE_T1 COVE_T2	IM	%	1/3 lata
Pokrycie przez warstwę krzewów i podrost gatunków drzewiastych S (od 0,5 do 5 m wysokości)	COVE_S	IM	%	
Pokrycie łączne przez gatunki zielne, krzewinki i nalot gatunków drzewiastych i krzewiastych (< 0,5 m wysokości) tworzące warstwę F	COVE_F	IM	%	
Pokrycie przez warstwę naziemnych mchów i porostów B	COVE_B	IM	%	
Pokrycie przez ściółkę L	COVE_L	IM	%	
Współczynnik pokrycia każdego gatunku w skali Braun-Blanqueta w danej warstwie	COVE_BB_(k), gdzie k = T, T1, T2, S, F	ZM	r, +, 1, 2, 3, 4, 5	
Liczba gatunków o ilościowości < 1% (w skali Braun-Blanqueta = „r” i „+”) w danej warstwie	NSPEC_BBr	ZM	n	
Liczba gatunków o ilościowości > 25% (w skali Braun-Blanqueta od 3 do 5)	NSPEC_BBc	ZM	n	
Ogólna liczba gatunków	NSPEC	ZM	n	

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstość pomiarów
Struktura flory: udział form życiowych Raunkiaera we florze kwadratu	VG_ NRAUNK	ZM	n, 0	1/3 lata
Struktura flory: udział grup geograficzno-historycznych we florze kwadratu	VG_NGH	ZM	n, 0	
struktura flory: udział gatunków starych lasów we florze kwadratu	VG_NSPEC_ OF	ZM	n, 0	
Struktura flory: liczba grup systematycznych we florze kwadratu – rodzaje	VG_NGENUS	ZM	n, 0	
Struktura flory: liczba grup systematycznych we florze kwadratu – rodziny	VG_NFAMILY	ZM	n, 0	

6.15.2.2. Zakres rozszerzony (fakultatywny): parametry opisujące dynamikę zasobów i kondycji biologicznej gatunków roślin tworzących warstwę runa

Zakres rozszerzony programu badawczego J2 obejmuje pomiary zasobów i kondycji biologicznej gatunków tworzących warstwę runa leśnego F, tj. zielnych gatunków roślin naczyniowych oraz siewek i nalotu (do 0,5 m wysokości) drzew i krzewów. Prowadzone są one na losowo wyznaczonych tzw. 8 małych kwadratach o boku 2 m.

W części rozszerzonej programu J2 uwzględniono następujące parametry (tab. 6.15.2):

- pokrycie łączne przez gatunki zielne, krzewinki oraz siewki i nalot gatunków drzewiastych i krzewiastych (< 0,5 m wysokości) tworzące warstwę F [COVE_F];
- indywidualne pokrycie przez wszystkie gatunki zielne, krzewinki oraz siewki i nalot gatunków drzewiastych i krzewiastych (< 0,5 m wysokości) tworzące warstwę F [COVE_F_SPEC];
- liczebność osobników 1-rocznych siewek oraz podrostu drzew i krzewów (w tym według gatunków) [NUM_S_TS-C SPEC];
- liczebność starszych osobników drzew i krzewów (nalotu) w warstwie F (<0,5 m) lub ramet (w przypadku gatunków klonalnych) w warstwie F według gatunków [NUM_JW_TS-C SPEC];
- liczebność osobników juwenilnych i wirginilnych lub wegetatywnych ramet (w przypadku roślin klonalnych) roślin zielnych według gatunków [NUM_ JW_SPEC];
- liczebność osobników lub ramet (w przypadku roślin klonalnych) generatywnych roślin zielnych według gatunków [NUM_F_SPEC].

Funkcję pomocniczą w opisie dynamiki populacji pełnią następujące parametry:

- pokrycie przez niezróżnicowaną warstwę drzew T [COVE_T] lub podwarstwy T1 i T2 (> 5 m wysokości) [COVE_T1, COVE_T2];

- pokrycie przez warstwę krzewów i podrost gatunków drzewiastych S (od 0,5 do 5 m wysokości) [COVE_S];
- pokrycie przez warstwę naziemnych mchów i porostów B [COVE_B];
- pokrycie przez ściółkę L [COVE_L].

Tabela 6.15.2. Parametry rozszerzone programu pomiarowego J2 – Struktura i dynamika szaty roślinnej

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka – dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstość pomiarów
8 powierzchni 2 × 2 m				
Pokrycie łączne przez gatunki zielne, krzewinki oraz siewki i nalot gatunków drzewiastych i krzewiastych (< 0,5 m wysokości) tworzące warstwę F	COVE_F	IM	%	1/3 lata
Indywidualne pokrycie przez wszystkie gatunki zielne, krzewinki oraz siewki i nalot gatunków drzewiastych i krzewiastych (< 0,5 m wysokości) tworzące warstwę F	COVE_F_SPEC	ZM	%	
Pokrycie przez warstwę drzew T lub podwarstwy: T1 i T2 (> 5 m wysokości)*	COVE_T COVE_T1 COVE_T2	IM	%	
Pokrycie przez warstwę krzewów i podrost gatunków drzewiastych S (od 0,5 do 5 m wysokości)*	COVE_S	IM	%	
Pokrycie przez warstwę naziemnych mchów i porostów B	COVE_B	IM	%	
Pokrycie przez ściółkę	COVE_L	IM	%	
Liczebność 1-rocznych siewek drzew i krzewów według gatunków	NUM_S_TS-CSPEC	ZM	n	
Liczebność starszych osobników drzew i krzewów (nalotu) w warstwie F (< 0,5 m) lub ramet (w przypadku gatunków klonalnych) w warstwie F wg gatunków	NUM_JW_TS-CSPEC	ZM	n	
Liczebność osobników juwenilnych i wirginilnych lub wegetatywnych ramet (w przypadku roślin klonalnych) roślin zielnych wg gatunków	NUM_JW_SPEC	ZM	n	
Liczebność osobników lub ramet (w przypadku roślin klonalnych) generatywnych roślin zielnych wg gatunków	NUM_F_SPEC	ZM	n	

*w tym także ocienienie powodowane przez korony drzew i krzewów rosnących poza analizowanym kwadratem o boku 2 m

6.15.3. Metodyka

6.15.3.1. Wymagania stanowisk pomiarowych

Prawo dysponowania gruntem. Powierzchnie przeznaczone do prowadzenia długoterminowych obserwacji w ramach programu J2 mogą być wytyczane jedynie na działkach ewidencyjnych (wydzieleniach leśnych), do których Stacja Bazowa ZMŚP ma prawo do jej dysponowania (własność, dzierżawa, użyczenie, np. ze strony parku narodowego, Lasów Państwowych na rzecz realizacji pomiarów potwierdzone umową na piśmie).

Zapewnienie o wyłączeniu z planowych działań gospodarczych oraz innych form bezpośredniego oddziaływania antropogenicznego. Długoterminowość obserwacji nie może być zakłócona wykonywaniem prac gospodarczych, działań ochronnych lub innymi formami bezpośredniego oddziaływania, np. penetracją turystyczną. Także w bezpośrednim sąsiedztwie powierzchni pomiarowych nie powinny być prowadzone działania, np. rębnie, prace melioracyjne, które mogłyby modyfikować warunki funkcjonowania szaty roślinnej na monitorowanych powierzchniach.

Kryterium biogeograficzne. Przy wyborze powierzchni stałych priorytetowo należy traktować obecność płatów fitocenoz leśnych charakterystycznych dla regionu biogeograficznego w randze działu według podziału Matuszkiewicza (2008). Nomenklatura i status syntaksonomiczny zbiorowisk leśnych objętych

Tabela 6.15.3. Wykaz zbiorowisk leśnych objętych monitoringiem w ramach programu J2

Nazwa Stacji Bazowej ZMŚP	Wykaz zbiorowisk leśnych
Wolin	żyzna buczyna niżowa *Galio odorati-Fagetum Rübel* (1930) ex Sougnez et Thill. 1959
Parsęta	porolny odłóg z fazami regeneracyjnymi flory i roślinności nawiązującymi do acydofilnej dąbrowy *Calamagrostio arundinaceae-Quercetum petraeae* (Hartm. 1934) Scam. et Pass. 1959
Puszcza Borecka	grąd subkontynentalny *Tilio cordatae-Carpinetum* Tracz. 1962
Wigry	grąd subkontynentalny *Tilio cordatae-Carpinetum* Tracz. 1962
Poznań-Morasko	monokultura sosnowa pochodząca z zalesienia porolnego z sukcesją wiodącą w kierunku ubogiego grądu *Galio sylvatici-Carpinetum* Oberd. 1957
Kampinos	śródlądowy bór wilgotny (bór trzęślicowy) *Molinio caeruleae-Pinetum* W. Mat. et J. Mat. 1973
Łysogóry	wyżynny jodłowy bór mieszany *Abietetum polonicum* (Dziub. 1928) Br. Bl. et Vlieg. 1939
Roztocze	wyżynny jodłowy bór mieszany *Abietetum polonicum* (Dziub. 1928) Br. Bl. et Vlieg. 1939
Beskid Niski	żyzna buczyna karpacka *Dentario glandulosae-Fagetum* W. Mat. 1964 ex Guzikowa et Kornaś 1969
Karkonosze	acydofilna buczyna górska *Luzulo luzuloidis-Fagetum* (Du Rietz 1923) Markgr. 1932 em. Meusel 1937

monitoringiem na powierzchniach badawczych na poszczególnych Stacjach Bazowych ZMŚP (tab. 6.15.3) jest zgodna z opracowaniem Matuszkiewicza (2001). W przypadku Stacji Bazowej Parsęta kontynuowany jest ponad 20-letni monitoring na odłogowanej powierzchni porolnej z zaawansowanym procesem regeneracji zbiorowisk leśnych. Na terenie Stacji Bazowej ZMŚP Pojezierze Chełmińskie ze względu na brak powierzchni leśnej program J2 nie jest realizowany.

Kryterium jednorodności płatu. Przy wyborze i wytyczaniu powierzchni stałych zachować należy kryterium jednorodności. Stan ten określony jest przez naturalne warunki fizjograficzne, siedliskowe i fitocenotyczne oraz aktualny stan i historię antropogenicznych oddziaływań na powierzchnię badawczą. Unikać należy wytyczania powierzchni stałych w bezpośrednim styku z brzegiem lasu, drogą, linią oddziałową, ciekiem wodnym. Dzięki temu możliwe będzie wykluczenie zmian przypadkowych lub przynajmniej ich zdiagnozowanie i odróżnienie od przeobrażeń kierunkowych i trwałych.

6.15.3.2. Organizacja powierzchni pomiarowych i znakowanie drzew

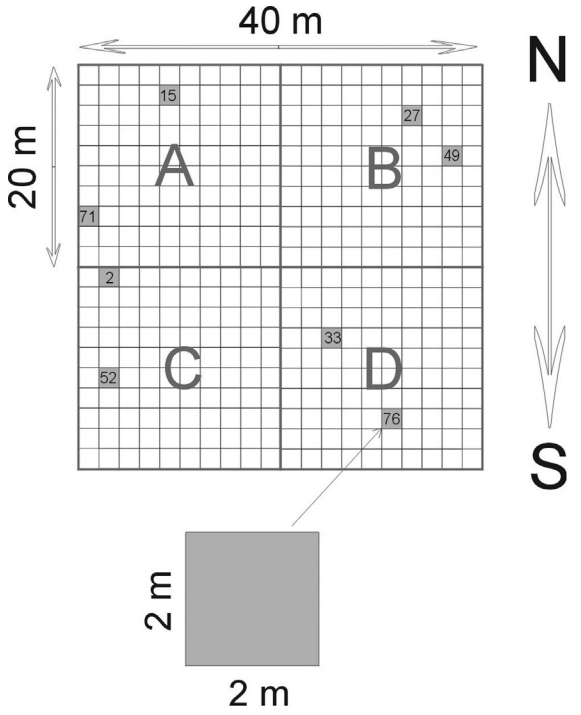
Zgodnie z powszechnie przyjętą praktyką badań ekologicznych (Fukarek 1967, Faliński 2001, Dzwonko 2007) pomiary wykonywane są na powierzchniach stałych mających postać kwadratów. W zależności od charakteru zaplanowanych obserwacji wyznaczono trzy kategorie powierzchni stałych (ryc. 6.15.1):

- jeden kwadrat o boku 40 m – pomiary dendrologiczne – część obligatoryjna programu J2;
- cztery kwadraty o boku 20 m każdy wpisane w kwadrat o boku 40 m i ułożone w tetradę (przylegające wzajemnie do siebie) – pomiary dynamiki roślinności – część obligatoryjna programu J2;
- po dwa losowo wskazane kwadraty o boku 2 m w każdym kwadracie o boku 20 m (= osiem kwadratów o boku 2 m) – monitoring dynamiki zasobów i kondycji biologicznej roślin runa leśnego w warstwie F – część rozszerzona (fakultatywna) programu J2.

Schemat lokalizacji losowo wskazanych kwadratów o boku 2 m, na których prowadzony jest zakres rozszerzony pomiarów oraz system kodowania kwadratów jest identyczny dla wszystkich Stacji Bazowych (ryc. 6.15.1).

Pod względem logistycznym optymalnym układem przestrzennym jest ułożenie kwadratów o boku 20 m w tetradę. Standard ten możliwy był do zastosowania we wszystkich niemal Stacjach Bazowych, w których realizowany jest program pomiarowy J2. Wyjątkiem od tej reguły jest tylko Stacja Bazowa Poznań-Morasko, gdzie ze względu na układ warunków siedliskowych powierzchnie badawcze wyznaczone są w kształcie litery L. O ile warunki terenowe pozwalają, zalecane jest zorientowanie tetrad poletek badawczych w kierunku północ–południe.

W narożnikach wyznaczonych kwadratów o boku 20 m na stałe umieszczono drewniane lub plastikowe paliki wystające ponad podłoże przynajmniej 1,5 m. Poletka małe o boku 2 m winny być także oznaczone w sposób stały za pomocą drewnianych kołków lub rurek z tworzywa sztucznego wystających ponad powierzchnię do 50 cm, wbitych w czterech narożnikach (ryc. 6.15.2). Paliki powinny być łatwo identyfikowalne przez prowadzącego obserwacje, natomiast trudne



Ryc. 6.15.1. Schemat organizacji i znakowania powierzchni badawczych

do zauważenia przez osoby trzecie. Wizualnie powinny się wtapiać w otoczenie. Nie zaleca się ich malowania farbą. Również niewskazane (ze względu na zagrożenie kradzieżą) jest stosowanie palików metalowych (por. Faliński 2001). Z uwagi na realną możliwość zniszczenia palików spowodowaną działalnością czynników środowiskowych lub osób trzecich zaleca się okresową (najlepiej wiosną przed rozpoczęciem wegetacji) kontrolę kompletności i stanu technicznego palików.

Ryc. 6.15.2. Widok jednej z powierzchni fakultatywnych na terenie Stacji Bazowej Puszcza Borecka

Ryc. 6.15.3. Oznakowane drzewo na terenie Stacji Bazowej Puszcza Borecka

Pomiarami dendrologicznymi objęto wszystkie egzemplarze drzew rosnących w kwadracie o boku 40 m mających przynajmniej 5 m wysokości. W przypadku drzew martwych stojących oraz leżących kłód mierzono wszystkie obiekty osiągające przynajmniej 10 cm średnicy w pierśnicy niezależnie od ich wysokości lub długości. Drzewa oraz leżące kłody uwzględniane w pomiarach należy na stałe oznakować cyframi arabskimi (ryc. 6.15.3). Najlepiej w tym celu użyć farby w sprayu. Ze względów praktycznych numeracja powinna być umieszczona na wszystkich drzewach po tej samej stronie pnia, przy czym preferowane jest umieszczenie oznaczenia po południowej stronie pnia i na wysokości wzroku. Unikać należy umieszczania znakowania od strony, z której spodziewamy się potencjalnej penetracji powierzchni (drogi, szlaki turystyczne). Nie poleca się znakowania drzew poprzez wpinanie karteczek lub innych mobilnych oznaczeń.

6.15.3.3. Nomenklatura, status i kodowanie gatunków i grup gatunków w bazie danych

Ujęcie systematyczne oraz nazewnictwo rodzin zastosowano według opracowania Rutkowskiego (2011). Status taksonomiczny i nazewnictwo taksonów niższych rang, tj. rodzajów i gatunków, przyjęto za opracowaniem Mirka i in. (2002). Zgodnie z sugestią zawartą w tym opracowaniu podgatunki i taksony mieszańcowe uwzględniano jedynie wówczas, gdy stanowiły wyraźne typy morfologiczne. We wszystkich zestawieniach i analizach były one traktowane na równi z gatunkami. Kodowanie gatunków w bazie danych opiera się na czteroliterowym skrócie nazwy rodzajowej i trójliterowym skrócie łacińskiej (naukowej) nazwy gatunkowej roślin, np. *Acer campestre* (kod ACER CAM), *Hepatica nobilis* (HEPA NOB) itp.

Przynależność gatunków do grup geograficzno-historycznych definiować należy według kryteriów wskazanych w opracowaniach Falińskiego (1968), Kornasia (1968, 1981), Trzcińskiej-Tacik (1979), Zająca (1979), Mirka (1981), Jackowiaka (1990) i Chmiela (2006) w odniesieniu do regionu biogeograficznego w randze działu (Matuszkiewicz 2008) (tab. 6.15.4).

Tabela 6.15.4. Grupy geograficzno-historyczne

Nazwa grupy	Opis grupy	Kod w bazie danych	Lista kodowa
Spontaneofity niesynantropijne (Sp)	gatunki rodzime, występujące w regionie prawie wyłącznie na siedliskach naturalnych i półnaturalnych	SP GGH	ZM
Apofity (Ap)	gatunki rodzime występujące w regionie najczęściej na siedliskach antropogenicznych	AP GGH	ZM
Archeofity (Ar)	trwale zadomowione gatunki obce, które przybyły do regionu dzięki człowiekowi przed odkryciem Ameryki (tj. przed 1492 r.)	AR GGH	ZM
Kenofity (Kn)	trwale zadomowione gatunki obce, które przybyły do regionu dzięki człowiekowi po odkryciu Ameryki	KN GGH	ZM
Diafity (D)	niezadomowione gatunki obce, pojawiające się w regionie tylko okresowo bez świadomego udziału człowieka lub przejściowo dziczejące z uprawy	D GGH	ZM

Zaklasyfikowanie do grup form życiowych przyjęto według opracowania Zarzyckiego i in. (2002) (tab. 6.15.5).

Tabela 6.15.5. Grupy form życiowych Raunkiaera

Nazwa grupy	Opis grupy	Kod w bazie danych	Lista kodowa
Megafanerofity (M)	gatunki mające pąki zimotrwałe osadzone na pędach zdrewniałych i dorastające powyżej 5 m wysokości (drzewa)	M FZR	ZM
Nanofanerofity (N)	gatunki mające pąki zimotrwałe osadzone na pędach zdrewniałych osiągających docelowo wysokość od 0,5 do 5 m wysokości (krzewy)	N FZR	ZM
Chamefity (Ch)	gatunki mające pąki zimotrwałe osadzone na pędach zdrewniałych lub zimujących pędach zielnych osiągających docelowo wysokość do 0,5 m wysokości (krzewinki)	CH FZR	ZM
Hemikryptofity (H)	wieloletnie gatunki zielne (byliny) mające pąki zimotrwałe osadzone na pędach przy powierzchni podłoża	H FZR	ZM
Geofity (G)	wieloletnie gatunki zielne (byliny) mające pąki zimotrwałe osadzone na pędach podziemnych	G FZR	ZM
Hydrofity (Hy)	wieloletnie gatunki zielne (byliny) mające pąki zimotrwałe osadzone na pędach podwodnych	HY FZR	ZM
Helofity (He)	wieloletnie gatunki zielne (byliny) mające pąki zimotrwałe osadzone na pędach ukrytych w podłożu bagiennym	HE FZR	ZM
Terofity (T)	jednoroczne gatunki zielne przetrzymujące krytyczną porę roku (przede wszystkim zimę) w postaci nasion lub owoców	T FZR	ZM

Gatunki, które trudno jednoznacznie zakwalifikować do jednej z wymienionych i zdefiniowanych w tabeli 6.15.5 grup form życiowych, tj. np. wytwarzające pąki zimujące osadzone zarówno na pędach przy powierzchni podłoża, jak i na pędach podziemnych, kwalifikowane są jako hemikryptofity/geofity (H/G) z kodem w bazie danych H/G FZR. Analogiczny sposób postępowania obowiązuje dla innych przypadków gatunków sprawiających trudność w jednoznacznym ich zakwalifikowaniu do głównych form życiowych Raunkiaera.

W kwalifikowaniu gatunków do grupy gatunków „starych lasów" należy posłużyć się opracowaniami Dzwonko i Loster (2001) oraz Dzwonko (2015).

6.15.3.4. Metodyka obserwacji

Terminy i częstotliwość obserwacji. Pomiary dendrologiczne oraz obserwacje stanu szaty roślinnej na powierzchniach stałych wykonywane są obligatoryjnie raz na trzy lata równocześnie na wszystkich Stacjach Bazowych. Z tą samą częstością realizowana jest też część rozszerzona w trybie fakultatywnym. Przyjmując opcję jednorazowych obserwacji, należy je planować w okresie fenologicznym

pełnego rozwoju maksymalnej liczby gatunków oraz stanu rozpoznawalności gatunków wiosennych. Za optymalny termin obserwacji na powierzchniach lasowych uznano czerwiec (najpóźniej lipiec). Termin prowadzenia obserwacji ma mniejsze znaczenie na siedliskach acydofilnych dąbrów, kwaśnych buczyn lub borów. Niezbędnym warunkiem porównywalności wyników prowadzonych obserwacji jest zachowanie terminowości – w kolejnych edycjach pomiarowych powinny one być wykonane w tej samej fazie fenologicznej rozwoju roślinności (o tej samej porze roku).

Pomiary dendrologiczne mogą być prowadzone w każdej porze roku. Istotne jest jednak, aby prowadzone były zawsze w tym samym terminie – ze względów logistycznych najlepiej w tym samym czasie, w którym prowadzone są obserwacje szaty roślinnej. Ważne jest też, aby kolejne edycje pomiarowo-obserwacyjne prowadziła ta sama osoba.

W trakcie obserwacji szaty roślinnej oraz wykonywania pomiarów dendrologicznych należy unikać wydeptywania powierzchni małych, wytyczonych do śledzenia zmian zasobów i kondycji gatunków runa leśnego. Z wyjątkiem celów dokumentacyjnych (zielnik) zabronione jest usuwanie nie tylko żywych roślin lub ich części, lecz także roślin obumarłych i ich fragmentów z powierzchni objętych obserwacjami.

Dokumentowanie zmian składu gatunkowego, struktury warstwowej zbiorowisk roślinnych oraz kondycji biologicznej gatunków (zakres obligatoryjny). Poligonami pomiarowymi dotyczącymi zbiorowisk roślinnych są kwadraty o boku 20 m. Podstawowym narzędziem dokumentowania struktury gatunkowej i warstwowej zbiorowisk roślinnych są formularze zdjęć fitosocjologicznych wykonywanych według metodyki Braun-Blanqueta (Dzwonko 2007) (załącznik 6.15.1). Dla wszystkich gatunków odnotowanych na powierzchniach badawczych należy prowadzić obserwacje ilościowości (tab. 6.15.6) oraz żywotności (tab. 6.15.7) według skali Braun-Blanqueta (Fukarek 1967, Scamoni 1967, Pawłowski 1977, Matuszkiewicz 2001).

Tabela 6.15.6. Skala ilościowości gatunków według Braun-Blanqueta

Wartość wskaźnika ilościowości	Opis wskaźnika	Zapis w bazie danych
r	populacja gatunku złożona z 1–2 osobników zajmujących bardzo małą powierzchnię	0,25
+	populacja gatunku złożona z kilku (rzadziej kilkunastu osobników) pokrywających niewielką część monitorowanej powierzchni	0,5
1	populacja gatunku umiarkowanie liczna, łączne pokrycie osobników nie przekracza 5% na monitorowanej powierzchni	1
2	pokrycie osobników gatunku wynosi 5–25%	2
3	pokrycie osobników gatunku wynosi 25–50%	3
4	pokrycie osobników gatunku wynosi 50–75%	4
5	pokrycie osobników gatunku wynosi powyżej 75%	5

Tabela 6.15.7. Skala żywotności gatunków według Braun-Blanqueta

Wartość wskaźnika żywotności	Opis wskaźnika*	Zapis w bazie danych
1	rośliny dobrze rozwinięte, odbywające pełny cykl generatywny	1
2	rośliny dobrze rozwinięte, ale nieprzechodzące pełnego cyklu generatywnego	2
3	rośliny rozwinięte słabo, sporadycznie przechodzące pełen cyklu życiowy	3
4	rośliny rozwinięte słabo, nierozmnażające się generatywnie	4

*z oceny wyłączono gatunki drzewiaste i krzewiaste tworzące warstwę roślinną F oraz gatunki drzewiaste tworzące warstwę roślinną S

Warstwy budujące zbiorowiska leśne wyróżniano w oparciu o rekomendowany przez Integrated Monitoring zakres wysokościowy:

- warstwa drzew (T): drzewa mające przynajmniej 5 m wysokości; w dojrzałych drzewostanach z reguły istnieje potrzeba wyróżnienia warstwy wyższej T1 i niższej (podokapowej) warstwy T2;
- warstwa krzewów (S): gatunki drzewiaste i krzewiaste mające wysokość 0,5–5 m;
- warstwa runa leśnego (F): siewki i kilkuletnie osobniki drzew i krzewów nieprzekraczających wysokości 0,5 m (nalot), krzewinki oraz zielne rośliny naczyniowe bez względu na osiąganą wysokość;
- naziemna warstwa mszaków i porostów (B);
- ściółka leśna (L).

Dokumentowanie pomiarów dendrologicznych (zakres obligatoryjny). Pomiary dendrologiczne prowadzone są w obrębie kwadratu o boku 40 m – tego samego, w obrębie którego wyznaczono poligony badawcze do obserwowania zmian w zbiorowiskach leśnych. Obligatoryjnie objęte są nimi wszystkie drzewa żywe i martwe, które przyżyciowo osiągnęły przynajmniej 5 m wysokości oraz leżące martwe kłody:

- drzewa żywe (stojące, a także pochylone, powalone lub dolne fragmenty złamanych pni do momentu ich obumarcia);
- drzewa martwe (stojące, a także dolne fragmenty złamanych pni do momentu ich powalenia lub rozkładu);
- leżące martwe kłody o średnicy w pierśnicy > 10 cm do czasu ich całkowitego rozkładu.

Pomiarami martwego drewna leżącego objęte są wszystkie egzemplarze (wg gatunków, o ile możliwa jest ich identyfikacja gatunkowa) mające przynajmniej 10 cm średnicy do czasu ich całkowitego rozkładu (załącznik 6.15.2). Z pomiarów dendrologicznych należy wyłączyć fragmenty pochylonych i leżących drzew oraz kłód, które wystają poza granice powierzchni pomiarowej.

Do pomiarów średnicy pnia drzew oraz leżących kłód wykorzystać należy powszechnie używany w leśnictwie średnicomierz (tzw. klupę). Pomiary średnicy pni drzew żywych i martwych należy wykonywać na wysokości 1,3 m.

W przypadku drzew wielopiennych (wytwarzających przynajmniej dwa pnie wyrastające ze wspólnego pnia na wysokości poniżej 1,3 m) pomiarem średnicy należy objąć każde rozgałęzienie. Wysokość przyłożenia klupy do pnia należy oznakować farbą, aby za każdym razem pomiary dotyczyły tego samego fragmentu pnia. W przypadku gdy na wysokości 1,3 m występują zgrubienia, narośla lub sęki, klupę należy do pnia przyłożyć dwukrotnie – powyżej oraz poniżej tych miejsc, a następnie uśrednić pomiary. W przypadku pni ukształtowanych mimośrodowo lub bocznie spłaszczonych zaleca się pomiar obwodu pnia za pomocą taśmy mierniczej, a następnie obliczenie ze wzoru wartości średnicy pnia; innym rozwiązaniem jest nakrzyżległy pomiar średnic i uśrednienie wyniku. Prawidłowo przyłożona klupa powinna w trzech miejscach stykać się z pniem, zaś jej dłuższe ramię prostopadle odstawać od osi pnia. Przyjąć należy zasadę, aby klupę przykładać zawsze z tej samej strony, np. od strony południowej.

Do obliczenia miąższości martwego drewna niezbędny jest pomiar wysokości drzew martwych stojących lub długości kłód leżących.

Dokumentowanie zmian wielkości zasobów i niektórych parametrów kondycji biologicznej gatunków tworzących warstwę runa leśnego (zakres fakultatywny). Monitorowanie zmian w zasobach i kondycji gatunków roślin naczyniowych tworzących warstwę F prowadzone jest w kwadratach o boku 2 m. Jego celem jest określenie dynamicznych tendencji populacji gatunków roślin – w pierwszej kolejności mających dużą wartość bioindykacyjną względem zbiorowiska roślinnego.

Do oceny liczebności osobników w obrębie poletek „małych" zaleca się stosować przenośną kratownicę z „oczkami" 1 × 1 m nakładaną na oznakowane powierzchnie.

Formularz służący do dokumentowania zmian na „małych" powierzchniach przedstawia załącznik 6.15.3.

6.15.4. Kontrola i weryfikacja danych, raportowanie danych do bazy danych

Jakość pomiarów opisujących skład gatunkowy, strukturę warstwową zbiorowisk leśnych oraz zasoby wybranych gatunków zależy przede wszystkim od kompetencji w zakresie znajomości roślin i doświadczenia w wykonywaniu zdjęć fitosocjologicznych osoby prowadzącej monitoring. Pomiary przewidziane w programie J2 powinny być wykonywane na danej Stacji Bazowej przez szereg edycji pomiarowych przez tę samą osobę.

Elementem weryfikacji poprawności oznaczeń gatunków na powierzchniach badawczych jest zielnik roślin. Powinien on być zebrany według wskazań zawartych w załączniku nr 19 w publikacji Kostrzewskiego i in. (1995) i zdeponowany na każdej Stacji Bazowej przez osobę wykonującą pomiary w ramach programu J2. Docelowo zbiorem powinny być objęte wszystkie gatunki roślin naczyniowych odnotowanych na powierzchniach stałych. W pierwszej kolejności powinny być zbierane rośliny, których oznaczenie w terenie (bez sprzętu optycznego i profesjonalnych kluczy do oznaczania) jest trudne. Alternatywą zbiorów zielnikowych mogą być odpowiednie pod względem jakościowym fotografie roślin. Obligatoryjnie tą formą dokumentowania należy objąć gatunki roślin, których nie

powinno się wykopywać czy nawet zrywać na monitorowanych powierzchniach: gatunki roślin chronionych prawem (Rozporządzenie 2014), gatunki uznane za zagrożone w Polsce (Kaźmierczakowa i in. 2016) oraz rzadko występujące na badanych powierzchniach, których pozyskanie mogłoby powodować zakłócenie wyników pomiarowych. Poprawność oznaczeń zebranych lub sfotografowanych roślin powinna zostać zweryfikowana przez eksperta merytorycznego lub nawet specjalistę zajmującego się daną grupą taksonomiczną, np. rodzaje Rubus, Rosa, Crataegus, Alchemilla.

Poprawność dokumentowania składu gatunkowego oraz struktury warstwowej zbiorowisk leśnych na powierzchniach stałych na wszystkich Stacjach Bazowych była weryfikowana w roku 2016, kiedy ekspert merytoryczny programu J2 w obecności osoby wykonującej monitoring współuczestniczył w pracach pomiarowych.

Wyniki pomiarów należy zapisać w przygotowanym i udostępnionym przez Centrum ZMŚP formacie plików arkusza kalkulacyjnego MS Excel (*.xls). Po wprowadzeniu kompletu danych plik należy przesłać pocztą elektroniczną ekspertowi merytorycznemu celem weryfikacji, a następnie po odniesieniu się do poprawek i uwag eksperta plik z bazą danych należy przesłać do Centrum ZMŚP.

Strukturę fragmentu bazy danych pomiarowych prezentuje tabela 6.15.8. Szczegółowe zasady kodowania danych programowych w ramach programu J2 (parametry obligatoryjne) przedstawiono w tabeli 6.15.9.

Tabela 6.15.8. Zapis danych w bazie danych, program J2 – Struktura i dynamika szaty roślinnej (powierzchnie stałe). Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
J2	XXZM	ZT	510	AP GGH	ZM		2019-07–24	1	VG_NGH	ZM	26							[–]	B
J2	XXZM	ZT	510	H/T FZR	ZM		2019-07–24	1	VG_NRAUNK	ZM	2							[–]	D
J2	XXZM	ZT	510				2019-07–24	1	COVE_B	IM	5							%	A
J2	XXZM	ZT	510				2019-07–24	1	COVE_S	IM	10							%	C
J2	XXZM	ZT	510	TILI COR	B4		2019-07–24	4	NUM_LD_T1	IM	1		S					trees	20–24
J2	XXZM	ZT	510	PICE ABI	B4		2019-07–24	4	DBH_LM_T2	ZM	22,5		X					cm	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium, kod gatunku rośliny, pole opcjonalne (Programy/Media [kategoria – rośliny, drzewa, inwazyjne]), F (LM) – kod listy medium, pole obligatoryjne, jeżeli podano kod medium, G (POZ) – pole niewykorzystywane w tym programie, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-DD, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru – oznacza liczbę pojedynczych powierzchni pomiarowych, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole opcjonalne (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole niewykorzystywane w tym programie, P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, pole niewykorzystywane w tym programie, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole niewykorzystywane w tym programie, R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole niewykorzystywane w tym programie, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole opcjonalne.

Tabela 6.15.9. Szczegółowe zasady kodowania programu J2 (parametry obligatoryjne)

Parametr		Typ danych	Medium	Kolumna T INFO	Uwagi
Nazwa	Kod				
powierzchnie 40 × 40 m					
Liczba żywych egzemplarzy gatunków drzew wg warstw T1, T2 i S (dotyczy tylko złamanych na wysokości < 5 m żywych pni drzew, które przed uszkodzeniem tworzyły warstwę T, T1 lub T2) (gatunkami)	NUM_L_T NUM_L_T1 NUM_L_T2 NUM_L_S	suma z 4 powierzchni 20 × 20 m (S)	gatunek drzewa	pusta komórka	dla każdego gatunku oddzielnie liczbę drzew; w przypadku braku podziału warstwy T na T1 i T2 podajemy tylko dane dla T
Średnica pnia w pierśnicy (na wys. 1,3 m) każdego drzewa żywego wg gatunków i warstw T lub T1 i T2 oraz S (dotyczy tylko złamanych na wysokości < 5 m żywych pni drzew, które przed uszkodzeniem tworzyły warstwę T, T1 lub T2)	DBH_L_T DBH_L_T1 DBH_L_T2 DBH_L_S			numer drzewa	wartość podawana dla każdego drzewa
Zestawienie drzew żywych w warstwie T1 i T2 oraz S (dotyczy tylko złamanych na wysokości < 5 m żywych pni drzew, które przed uszkodzeniem tworzyły warstwę T, T1 lub T2) wg gatunków i klas średnicy pnia w pierśnicy (na wys. 1,3 m) (klasa 0 = 0–4 cm, 5 = 5–9 cm, 10 = 10–14 cm, 15 = 15–19 cm itp.)	NUM_LD_T NUM_LD_T1 NUM_LD_T2 NUM_LD_S			klasa średnicy pnia w pierśnicy np. 10–14	dla każdego gatunku i każdej klasy podajemy oddzielnie liczbę drzew; w przypadku braku podziału warstwy T na T1 i T2 podajemy tylko dane dla T; podajemy dane tylko dla występujących klas
Wartość średnia średnicy pnia w pierśnicy (na wys. 1,3 m) żywych egzemplarzy drzew w warstwie T1, T2 oraz S (dotyczy tylko złamanych na wysokości < 5 m żywych pni drzew, które przed uszkodzeniem tworzyły warstwę T, T1 lub T2) wg gatunków	DBH_LM_T DBH_LM_T1 DBH_LM_T2 DBH_LM_S	średnia z 4 powierzchni 20 × 20 m (X)		pusta komórka	dla każdego gatunku (bez podziału na klasy) podajemy oddzielnie; w przypadku braku podziału warstwy T na T1 i T2 podajemy tylko dane dla T

Parametr		Typ danych	Medium	Kolumna T INFO	Uwagi
Nazwa	Kod				
Liczba martwych egzemplarzy drzew stojących w warstwie T1 i T2 wg gatunków (o ile możliwa jest identyfikacja)	NUM_DD_T NUM_DD_T1 NUM_DD_T2	suma z 4 powierzchni 20 × 20 m (S)	gatunek drzewa	pusta komórka	dla każdego gatunku podajemy oddzielnie; w przypadku braku podziału warstwy T na T1 i T2 podajemy tylko dane dla T; w przypadku braku martwych drzew stojących podajemy wartość 0 dla każdej wyróżnionej warstwy z kodem INAPPLICABLE (ZM) w kolumnie medium; jeżeli niemożliwa jest identyfikacja gatunku, podajemy kod UNKNOWN (ZM)
Miąższość zasobów martwego drewna – drzewa stojące w warstwie T1 i T2 (gatunkami o ile możliwa jest identyfikacja)	DBH_D_T DBH_D_T1 DBH_D_T2				
Liczba kłód leżących wg gatunków (o ile możliwa jest identyfikacja) o średnicy > 10 cm	NUM_FD				dla każdego gatunku oddzielnie podajemy liczbę kłód/miąższość; w przypadku braku kłód podajemy 0 z kodem INAPPLICABLE (ZM) w kolumnie medium; jeżeli niemożliwa jest identyfikacja gatunku, podajemy kod UNKNOWN (ZM)
miąższość zasobów martwego drewna – kłody o średnicy > 10 cm leżące na dnie lasu (gatunkami, o ile możliwa jest identyfikacja)	DBH_FD				
powierzchnie 20 × 20 m					
Pokrycie przez warstwę drzew [T]: COVE_T1 i COVE_T2, jeśli warstwa drzew jest podzielona na dwie podwarstwy (T1 i T2) (> 5 m wysokości)	COVE_T COVE_T1 COVE_T2	pusta komórka	pusta komórka	kod powierzchni 20 × 20 m np. C	dla każdej powierzchni oddzielnie; w przypadku braku podziału warstwy T na T1 i T2 podajemy tylko dane dla T; w przypadku braku drzew podajemy wartość 0 dla T
Pokrycie warstwy krzewów i podrostu gatunków drzewiastych [S] (od 0,5 do 5 m wysokości)	COVE_S				dla każdej powierzchni oddzielnie; w przypadku braku krzewów podajemy wartość 0 dla COVE_S

Parametr		Typ danych	Medium	Kolumna T INFO	Uwagi
Nazwa	Kod				
Pokrycie łączne przez gatunki zielne, krzewinki i nalot gatunków drzewiastych i krzewiastych (< 0,5 m wysokości) tworzące warstwę [F]	COVE_F	pusta komórka	pusta komórka	kod powierzchni 20 na 20 m np. C	dla każdej powierzchni oddzielnie; w przypadku braku runa leśnego podajemy wartość 0 dla COVE_F
Pokrycie przez ściółkę [L]	COVE_L				dla każdej powierzchni oddzielnie; w przypadku braku ściółki leśnej podajemy wartość 0 dla COVE_L
Współczynnik pokrycia każdego gatunku w skali Braun-Blanqueta w danej warstwie	COVE_BB_(k) gdzie k = T, T1, T2, S, F		gatunek rośliny		podajemy pokrycie w skali Braun-Blanqueta dla każdego gatunku w każdej warstwie oddzielnie; z podziałem na powierzchnie A, B, C, D; jeżeli określony gatunek występuje tylko w jednej warstwie np. T1 lub na jednej powierzchni 20 × 20 m, a poza tym nie występuje, to należy podać tylko wiersz dla warstwy (powierzchni 20 × 20 m), w której gatunek występuje
Liczba gatunków o ilościowości < 1% (w skali Braun-Blanqueta = „r" i „+") w danej warstwie	NSPEC_BBr		pusta komórka		podajemy liczbę gatunków; z podziałem na powierzchnie A, B, C, D
Liczba gatunków o ilościowości > 25% (w skali Braun-Blanqueta od 3 do 5)	NSPEC_BBc				
Ogólna liczba gatunków	NSPEC				
Struktura flory: liczba grup systematycznych we florze kwadratu – rodzaje	VG_NGENUS				podajemy liczbę rodzajów z podziałem na powierzchnie A, B, C, D; nazewnictwo rodzajów oraz ujęcie taksonomiczne przynależności gatunków do rodzajów wg Rutkowskiego (2011)

Parametr		Typ danych	Medium	Kolumna T INFO	Uwagi
Nazwa	Kod				
Struktura flory: liczba grup systematycznych we florze kwadratu – rodziny	VG_NFAMILY	pusta komórka	pusta komórka	kod powierzchni 20 na 20 m np. C	podajemy liczbę rodzin z podziałem na powierzchnie A, B, C, D; nazewnictwo rodzin oraz ujęcie taksonomiczne przynależności gatunków do rodzin wg Rutkowskiego (2011)
Struktura flory: liczba gatunków reprezentujących formy życiowe Raunkiaera we florze kwadratu	VG_NRAUNK				podajemy liczbę gatunków reprezentujących formy życiowe z podziałem na powierzchnie A, B, C, D; w przypadku braku danej kategorii nie umieszczamy wiersza dla tej kategorii
Struktura flory: liczba gatunków reprezentujących grupy geograficzno-historyczne we florze kwadratu	VG_NGH				podajemy liczbę gatunków reprezentujących grupy geograficzno-historyczne z podziałem na powierzchnie A, B, C, D; w przypadku braku danej grupy nie umieszczamy wiersza dla tej grupy
Struktura flory: liczba gatunków starych lasów we florze kwadratu	VG_NSPEC_OF				podajemy liczbę gatunków starych lasów z podziałem na powierzchnie A, B, C, D; w przypadku braku podajemy wartość 0

Literatura

Chmiel J., 2006. Zróżnicowanie przestrzenne flory jako podstawa ochrony przyrody w krajobrazie rolniczym. Prace Zakładu Taksonomii Roślin Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, 14, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 250.

Dzwonko Z., 2007. Przewodnik do badań fitosocjologicznych. Vademecum Geobotanicum. Sorus, Poznań, Instytut Botaniki Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.

Dzwonko Z., 2015. Rośliny runa wskaźnikami pochodzenia i przemian lasów. Studia i Materiały CEPL w Rogowie, 42: 27–37.

Dzwonko Z., Loster S., 2001. Wskaźnikowe gatunki roślin starych lasów i ich znaczenie dla ochrony przyrody i kartografii roślinności. IGiPZ PAN, Prace Geogr., 178: 120–132.

Faliński J.B., 1968. Synantropizacja szaty roślinnej. I. Neofityzm i apofityzm w szacie roślinnej Polski. Mat. Zakł. Fitos. Stos. UW, 25.

Faliński J.B., 2001. Przewodnik do długoterminowych badań geobotanicznych. Vademecum Geobotanicum. Wyd. Nauk. PWN S.A., Warszawa.

Fukarek F., 1967. Fitoscojologia. PWRiL, Warszawa.

Jackowiak B., 1990. Antropogeniczne przemiany flory roślin naczyniowych Poznania. Wyd. Nauk. UAM, B, 42, Poznań.

Jackowiak B., 1994 (npbl.). Wytypowanie stałych powierzchni testowych dla badań fitosocjologicznych oraz kartowania w wybranych zlewniach reprezentatywnych. Opracowanie wykonane w ramach ZMŚP.

Jackowiak B., 2006. Program pomiarowy J2: Struktura i dynamika szaty roślinnej (powierzchnie stałe). W: A. Kostrzewski, R. Kruszyk, R. Kolander (red.), Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań. Wyd. 2 (http://zmsp.gios.gov.pl/?page_id=69).

Kaźmierczakowa R., Błoch-Orłowska J., Celka Z., Cwener A., Dajdok Z., Michalska-Hejduk D., Pawlikowski P., Szczęśniak E., Ziarnek K., 2016. Polska czerwona lista paprotników i roślin kwiatowych. IOP PAN, Kraków.

Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A. (red.), 1995. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa (http://centrumzmsp-www.home.amu.edu.pl/?page_id=71).

Kornaś J., 1968. Geograficzno-historyczna klasyfikacja roślin synantropijnych. Mater. Zakł. Fitos. Stosow. UW, 25: 33–41.

Kornaś J., 1981. Oddziaływanie człowieka na florę: mechanizmy i konsekwencje. Wiad. Bot., 25(3): 165–182.

Manual, 1998. Manual for Integrated Monitoring, International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air pollution Effects on Ecosystems. ICP IM Programme Centre Helsinki, on-line.

Matuszkiewicz J.M., 2008. Regionalizacja geobotaniczna Polski. IGiPZ PAN, Warszawa.

Matuszkiewicz W., 2001. Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Vademecum Geobotanicum. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

Mirek Z., 1981. Problemy klasyfikacji roślin synantropijnych. Wiad. Bot., 25(1): 45–54.

Mirek Z., Piękoś-Mirek H., Zając A., Zając M., 2002. Flowering Plants and Pteridophytes of Poland. A Checklist. PAN, Inst. Bot. im. W. Szafera, Kraków.

Pawłowski B., 1977. Skład i budowa zbiorowisk roślinnych oraz metody ich badania. W: W. Szafer, K. Zarzycki (red.), Szata roślinna Polski. 2. PWN, Warszawa: 237–268.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 roku w sprawie ochrony gatunkowej roślin (Dz.U. 2014 poz. 1409).

Rutkowski L., 2011. Klucz do oznaczania roślin naczyniowych Polski niżowej. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
Scamoni A., 1967. Wstęp do fitosocjologii praktycznej. PWRiL, Warszawa.
Trzcińska-Tacik H., 1979. Flora synantropijna Krakowa. Rozpr. Hab. UJ, 32.
Zając A., 1979. Pochodzenie archeofitów występujących w Polsce. Rozpr. Hab. UJ, 29.
Zarzycki K., Trzcińska-Tacik H., Różański W., Szeląg Z., Wołek J., Korzeniak U., 2002. Ecological indicator values of vascular plants of Poland. W: Z. Mirek (red.), Biodiversity of Poland. 2. W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, Kraków.

Załącznik 6.15.1. Formularz terenowego zdjęcia fitosocjologicznego

ZINTEGROWANY MONITORING ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO													
J2: Struktura i dynamika szaty roślinnej (powierzchnie stałe), kwadraty 20 × 20 m 1 – szata roślinna													
Nazwa Stacji Bazowej:						Nr powierzchni dużej:							
Data wykonania zdjęcia:						Zdjęcie wykonał:							
Pokrycie warstwy roślinnej [(%]													
T		T1 T2		S		F		B		Pokrycie przez ściółkę [%]			
Nazwa gatunku			war.	ilośc.	żyw.	Nazwa gatunku					war.	ilośc.	żyw.
						Uwagi obserwatora					Lokalizacja kwadratu		
											A		B
											C		D

Oznaczenie skrótów w tabeli: war. – oznaczenie warstwy roślinnej, ilośc. – ocena ilościowości według skali Braun-Blanqueta, żyw. – żywotność według skali Braun-Blanqueta.

Załącznik 6.15.2. Formularz pomiarów dendrologicznych

ZINTEGROWANY MONITORING ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO			
J2: Struktura i dynamika szaty roślinnej (powierzchnie stałe), kwadrat 40 × 40 m 2 – parametry dendrologiczne			
Nazwa Stacji Bazowej:		Nr powierzchni dużej:	
Data wykonania pomiaru:		Pomiar wykonał:	

Parametry pnia drzew żywych (gatunkami) wg warstw i oznaczeń w terenie			
Gatunek drzewa			
Nr inwentarzowy drzewa	1	2	3
Oznaczenie warstwy (T, T1 lub T2)			
Średnica pnia na wys. 1,3 m [cm]			

Parametry martwych drzew stojących (gatunkami) wg warstw i oznaczeń w terenie			
Gatunek drzewa			
Nr inwentarzowy drzewa	1	2	3
Oznaczenie warstwy (T, T1 lub T2)			
Średnica pnia na wys. 1,3 m [cm]			
Wysokość pnia [m]			
Miąższość pnia [m^3]			

Parametry leżących kłód drewna (gatunkami) wg oznaczeń w terenie			
Gatunek drzewa			
Nr inwentarzowy kłody	1	2	3
Średnica pnia w połowie długości [cm]			
Długość kłody [m]			
Miąższość kłody [m^3]			

Załącznik 6.15.3. Formularz pomiarów właściwości strukturalnych i dynamicznych populacji wybranych gatunków roślin w warstwie F (zakres rozszerzony programu)

ZINTEGROWANY MONITORING ŚRODOWISKA PRZYRODNICZEGO											
J2: Struktura i dynamika szaty roślinnej (powierzchnie stałe), kwadraty 2 × 2 m 1 – szata roślinna											
Nazwa Stacji Bazowej:						Nr powierzchni dużej:					
Data wykonania zdjęcia:						Zdjęcie wykonał:					
Pokrycie warstwy roślinnej [(%]											
T		T1 T2		S		F		B		Pokrycie przez ściółkę [%]	

Nazwa gatunku	Wartość pokrycia podłoża przez gatunki występujące w kwadracie [%]	Liczebność [n]			
		osobników (ramet) drzew i krzewów wg gatunków (do 0,5 m wys.)	siewek drzew i krzewów wg gatunków	osobników (ramet) płonnych roślin zielnych wg gatunków	osobników (ramet) generatywnych roślin zielnych wg gatunków

6.16. Program J3 – Monitoring gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – rośliny

Lech Krzysztofiak

Wigierski Park Narodowy

6.16.1. Wprowadzenie, cel pomiarów

Program J3 dotyczy badania inwazyjnych gatunków obcych (IGO) definiowanych zgodnie z art. 3 rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1143/2014 z dnia 22.10.2014 r. w sprawie działań zapobiegawczych i zaradczych w odniesieniu do wprowadzania i rozprzestrzeniania inwazyjnych gatunków obcych. Zgodnie z tą definicją „inwazyjny gatunek obcy" oznacza gatunek wprowadzony poza jego naturalny zasięg, a jego wprowadzenie lub rozprzestrzenianie się zagraża bioróżnorodności i powiązanym usługom ekosystemowym lub oddziałuje na nie w niepożądany sposób. Są to zatem gatunki zadomowione na obszarze

pierwotnie obcym, wytwarzające żywotne potomstwo, często w ogromnej ilości, rozprzestrzeniające się na znaczną odległość od roślin macierzystych.

Inwazje obcych gatunków roślin obecnie stanowią, poza utratą siedlisk, największe globalne zagrożenie dla zachowania różnorodności biologicznej, w tym siedlisk i gatunków objętych ochroną w ramach sieci obszarów Natura 2000. Gatunki inwazyjne oddziałują na gatunki rodzime oraz strukturę i funkcje ekosystemów poprzez zmianę siedlisk, warunków żerowania, konkurencję, przenoszenie chorób, zastępowanie gatunków rodzimych w znacznej części ich zasięgu oraz zmiany genetyczne (hybrydyzację).

Program J3 realizuje założenia rozporządzeń PE i Rady (UE) nr 1143/2014 i nr 1293/2013 z dnia 11.12.2013 r. w sprawie ustanowienia programu działań na rzecz środowiska i klimatu (LIFE) oraz projektu krajowej ustawy o gatunkach obcych, który jest obecnie na końcowym etapie legislacji. Przyczynia się również do zwiększenia poziomu wiedzy o inwazyjnych gatunkach roślin obcego pochodzenia, gromadzenia danych o ich występowaniu, dynamice rozprzestrzeniania oraz skuteczności podejmowanych działań zaradczych. Informacje o występowaniu obcych gatunków roślin z obszarów Stacji Bazowych ZMŚP będą zasilały, oprócz Centralnej Bazy Danych ZMŚP, Centralny Rejestr Danych o IGO, który zgodnie z projektem ustawy o gatunkach obcych będzie prowadzony przez Generalnego Dyrektora Ochrony Środowiska.

Wyniki prac monitoringowych będą stanowiły przyczynek do zidentyfikowania szlaków i mechanizmów umyślnego i nieumyślnego wprowadzania i rozprzestrzeniania się obcych gatunków roślin na obszarze zlewni badawczej. Będą również dostarczały danych niezbędnych do planowania działań zaradczych, polegających na eliminacji, kontroli lub izolacji populacji inwazyjnych gatunków obcych, przy jednoczesnym zminimalizowaniu oddziaływania na gatunki niedocelowe i ich siedliska.

Celem programu jest:

- ocena zagrożenia rodzimej flory (różnorodności gatunkowej) i siedlisk przyrodniczych zlewni badawczej wynikającego z rozprzestrzeniania się inwazyjnych gatunków roślin obcego pochodzenia;
- ocena zmian (tendencji i kierunku) populacji inwazyjnych gatunków roślin obcego pochodzenia;
- gromadzenie w Centralnej Bazie Danych ZMŚP informacji o występowaniu inwazyjnych gatunków roślin obcego pochodzenia oraz zasilanie Centralnego Rejestru Danych o IGO.

6.16.2. Metodyka

Monitoring obcych gatunków roślin jest prowadzony zarówno na całym obszarze zlewni badawczej (monitoring ogólny), jak i na wyznaczonych stałych stanowiskach badawczych (monitoring szczegółowy). Obiektem monitoringu są inwazyjne gatunki roślin naczyniowych obcego pochodzenia, zgodnie z opracowaniem Tokarskiej-Guzik i in. (2014), rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9.09.2011 r. w sprawie listy roślin i zwierząt gatunków obcych, które w przypad-

ku uwolnienia do środowiska przyrodniczego mogą zagrozić gatunkom rodzimym lub siedliskom przyrodniczym (Dz.U. nr 210, poz. 1260) oraz rozporządzeniem wykonawczym Komisji (UE) 2016/1141 z dnia 13.07.2016 r. przyjmującym wykaz inwazyjnych gatunków obcych uznanych za stwarzające zagrożenie dla Unii wraz z późniejszymi zmianami zawartymi w: rozporządzeniu wykonawczym Komisji (UE) 2017/1263 z dnia 12.07.2017 r. (Dz.U. UE L 182/37 z 13.7.2017) oraz rozporządzeniu wykonawczym Komisji (UE) 2019/1262 z dnia 25.07.2019 r. (Dz.U. UE L 199/1 z 26.7.2019).

Ze względu na dynamikę procesu inwazji biologicznych możliwe jest rozszerzenie listy gatunków roślin obcych, uznanych za stwarzające zagrożenie dla Polski lub całej Unii – wówczas nowe gatunki również zostaną objęte niniejszym monitoringiem.

6.16.2.1. Stanowiska badawcze

Monitoring ogólny prowadzony jest na terenie całej zlewni badawczej, a wyniki (stwierdzenia obecności gatunku inwazyjnego obcego pochodzenia) nanoszone są na mapę zlewni z siatką kwadratów o boku 100 m w systemie MGRS (Military Grid Reference System), opartym na siatce UTM (Universal Transverse Mercator). Występowanie gatunku w danym kwadracie siatki traktowane jest jako pojedyncze stanowisko tego gatunku.

Monitoring szczegółowy jest prowadzony na stałych stanowiskach badawczych (powierzchniach o areale 100 m^2 – kwadraty 10 × 10 m lub prostokąty dopasowane do ukształtowania i zagospodarowania terenu). Stanowiska są trwale oznakowane w terenie, np. za pomocą drewnianych lub plastikowych palików oraz naniesione na mapę. Na terenie każdej zlewni badawczej zostało wytypowanych 6–12 stanowisk badawczych (ich liczba zależy od wielkości zlewni, zróżnicowania siedlisk i/lub liczby gatunków inwazyjnych w obrębie poszczególnych Stacji Bazowych). Część stanowisk (2–4) zlokalizowana jest na siedliskach, w których jeszcze gatunków inwazyjnych nie stwierdzono, ale występuje bardzo duże prawdopodobieństwo, że w najbliższym czasie pojawią się (siedliska potencjalne). Pozostałe stanowiska są założone w miejscach, gdzie występują inwazyjne gatunki obcego pochodzenia roślin wybrane do monitoringu szczegółowego (por. tab. 6.16.3). W przypadku pojawienia się obcych roślin inwazyjnych na stanowiskach, na których dotychczas ich nie stwierdzono, nie należy zwiększać liczby stanowisk bez roślin inwazyjnych.

Na każdym stanowisku wybrano 5 stałych powierzchni próbnych 1 × 1 m (4 powierzchnie w narożnikach stanowiska i jedno w jego środku – na przecięciu przekątnych pomiędzy palikami), na których zliczane są wszystkie nadziemne pędy zielnych roślin inwazyjnych obcego pochodzenia. Każda z powierzchni próbnych posiada stałe oznaczenie, które składa się z oznaczenia stanowiska i numeru powierzchni (np. 089/1). Oznaczenie powierzchni próbnych należy nanieść na schemat każdego stanowiska badawczego.

6.16.2.2. Metodyka obserwacji

Monitoring ogólny

Monitoring ogólny prowadzony jest na obszarze całej zlewni co roku przez cały sezon wegetacyjny i obejmuje wszystkie gatunki roślin obcego pochodzenia, niezależnie od ich statusu (gatunek inwazyjny w skali kraju, gatunek inwazyjny regionalnie lub lokalnie, gatunek potencjalnie inwazyjny). Polega on na wyszukiwaniu w terenie obcych gatunków roślin oraz nowych ich stanowisk, z podaniem dokładnej lokalizacji (określonej za pomocą GPS) i ewentualnie szacunkowej liczby osobników (pędów nadziemnych). Wyniki monitoringu są nanoszone na mapę zlewni badawczej z nałożoną siatką kwadratów w systemie MGRS. Do oceny liczebności roślin zielnych można, na ile pozwoli ukształtowanie terenu oraz struktura szaty roślinnej, zastosować trzystopniową skalę:

- liczebność mała: pojedyncze osobniki występują w rozproszeniu lub niewielkich skupieniach (w zasięgu wzroku 1–10 os.);
- liczebność średnia: w zasięgu wzroku osobniki występują w skupieniach (po kilkanaście–kilkadziesiąt osobników) i pojedynczo lub w skupieniach w kilkunastu–kilkudziesięciu miejscach;
- liczebność duża: osobniki występują bardzo licznie – w zasięgu wzroku występuje ponad 100 osobników w rozproszeniu, w gęstych płatach lub skupieniach (np. liniowych wzdłuż cieku, drogi itp.).

W przypadku roślin drzewiastych podawana jest w miarę dokładna liczba drzew lub ich młodych osobników (do 1 m wysokości), występujących w zasięgu wzroku.

Obserwacje na obszarze całej zlewni mogą być prowadzone zarówno podczas zaplanowanych akcji poszukiwania nowych gatunków lub stanowisk (przynajmniej raz w sezonie wegetacyjnym), jak i przy okazji realizacji innych programów pomiarowych. Wyniki tej części monitoringu wzbogacą ogólne informacje o występowaniu inwazyjnych gatunków roślin obcego pochodzenia i pozwolą śledzić zmiany w ich składzie gatunkowym, wielkości populacji oraz rozmieszczeniu stanowisk na terenie zlewni badawczej.

W przypadku prowadzenia na terenie zlewni badawczej akcji zwalczania obcych gatunków roślin, przed przeprowadzeniem zabiegu należy określić/oszacować liczebność roślin oraz dokładną ich lokalizację, a następnie podać metodę usuwania roślin oraz datę wykonania zabiegu. W następnych latach konieczne jest monitorowanie takich stanowisk w celu oceny skuteczności przeprowadzonego zabiegu.

Wyniki monitoringu ogólnego, poza naniesieniem ich na mapę, należy zapisać w lokalnej bazie danych (np. w programie MS Access czy MS Excel), uwzględniając następujące pola: nazwę gatunku (łacińską i polską), datę obserwacji, współrzędne geograficzne stanowiska (z GPS), nazwę kwadratu siatki w systemie MGRS, liczebność (mała, średnia, duża lub liczba okazów), stopień inwazyjności, wykonane zabiegi zwalczania. Informacje te posłużą do oceny zagrożenia terenu zlewni badawczej inwazyjnymi gatunkami roślin obcego pochodzenia.

Podstawowymi wskaźnikami monitoringu ogólnego są: liczba gatunków obcego pochodzenia, liczba kwadratów, w których stwierdzono gatunki obce (łączna

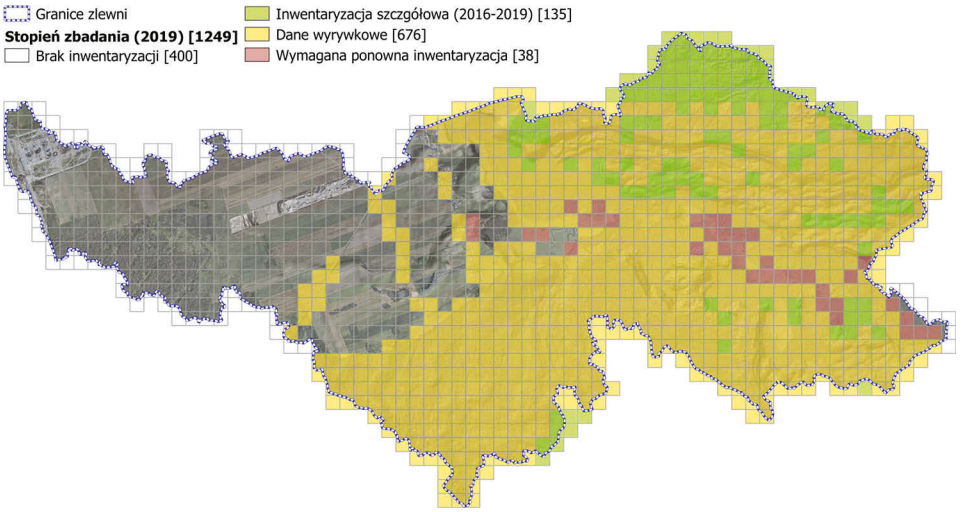
dla wszystkich gatunków i z rozbiciem na poszczególne gatunki) oraz liczba wszystkich przebadanych kwadratów z uwzględnieniem wszystkich lat badań (tab. 6.16.1). Przy opracowywaniu i prezentowaniu wyników monitoringu ogólnego zaleca się podawanie udziału procentowego kwadratów MGRS (stanowisk) z badanym gatunkiem, liczonego w odniesieniu do wszystkich kwadratów z wykrytymi w danym roku gatunkami obcymi (przykładowe zestawienie przedstawia tab. 6.16.2). Zaleca się również, aby wyniki (zaznaczone kwadraty z występowaniem gatunków obcych) prezentowane były na mapach z siatką MGRS, na tle wszystkich kwadratów, które w całym okresie badań były przeszukiwane. Należy wyróżnić cztery kategorie stopnia zbadania każdego kwadratu (różnicując je np. kolorem wypełnienia): (1) kwadrat szczegółowo zbadany (Inwentaryzacja szczegółowa) – był na całej powierzchni wielokrotnie penetrowany w poszukiwaniu gatunków obcych; (2) kwadrat wyrywkowo zbadany (Dane wyrywkowe) – był badany fragmentarycznie, jednokrotnie lub dwukrotnie; (3) kwadrat wymaga ponownego zbadania (Wymagana ponowna inwentaryzacja) – był wcześniej badany, ale zaszły nowe okoliczności, np. został przeprowadzony zabieg usunięcia obcego gatunku lub wystąpiło inne zdarzenie, mogące przyczynić się do pojawienia się obcego gatunku rośliny; (4) kwadrat niebadany (Brak inwentaryzacji) – jeszcze nie prowadzono w nim poszukiwań gatunków obcych. Przykładową mapę obszaru zlewni badawczej, z naniesioną siatką MGRS i wyróżnionymi kategoriami stopnia zbadania poszczególnych kwadratów, przedstawia rycina 6.16.1.

Tabela 6.16.1. Wskaźniki dotyczące monitoringu ogólnego, prowadzonego na obszarze całej zlewni badawczej

Wskaźnik	Miara	Sposób pomiaru	Uwagi
Liczba gatunków obcego pochodzenia	sumaryczna liczba gatunków	policzenie (przygotowanie listy) wszystkich gatunków stwierdzonych w danym roku na obszarze zlewni	obok liczby gatunków z danego roku zaleca się podanie (np. w nawiasie) liczby wszystkich dotychczas stwierdzonych gatunków obcych z terenu zlewni
Liczba kwadratów, w których stwierdzono gatunki obce (łączna dla wszystkich gatunków i z rozbiciem na poszczególne gatunki)	liczba kwadratów MGRS	policzenie wszystkich kwadratów w obrębie zlewni, w których w całym okresie badań stwierdzono konkretny gatunek obcy oraz zsumowanie ich, bez rozróżnienia gatunków	obok liczby kwadratów z całego okresu badań (zarówno dla konkretnego gatunku, jak i wszystkich razem) zaleca się podanie (np. w nawiasie) liczby wszystkich kwadratów, w których stwierdzono obce gatunki w danym roku
Liczba przebadanych kwadratów w całym okresie badań	liczba kwadratów MGRS	policzenie wszystkich kwadratów w obrębie zlewni, w których w całym okresie badań prowadzono poszukiwania gatunków obcych	należy policzyć wszystkie kwadraty, niezależnie od stopnia ich przebadania (bez kwadratów, w których jeszcze nie prowadzono badań)

Tabela 6.16.2. Przykładowa prezentacja udziału procentowego stanowisk (kwadratów MGRS) z obcymi gatunkami roślin, stwierdzonymi w danym roku

Kwadrat (stanowisko)	Ogółem	Gatunek			
		Impatiens glandulifera	*Solidago* sp.	*Quercus rubra*	*Acer negundo*
Liczba	84	12	5	4	18
Odsetek (%)	100	14,3	6,0	4,8	21,4



Ryc. 6.16.1. Obszar zlewni badawczej WIGRY z siatką MGRS i zaznaczonymi kwadratami objętymi badaniami w latach 2016–2019

Monitoring szczegółowy

Monitoring szczegółowy realizowany jest na 6–12 stałych stanowiskach badawczych. Na wszystkich stanowiskach, w ramach badań wyjściowych (podczas zakładania powierzchni), określony został skład gatunkowy płatów roślinności (zdjęcie fitosocjologiczne) według skali Braun-Blanqueta. Do badań należy wybrać inwazyjne gatunki roślin zamieszczone w tabeli 6.16.3, które zostały stwierdzone na stanowiskach badawczych.

Skala ilościowości Braun-Blanqueta:

r – populacja gatunku złożona z 1–2 osobników zajmujących bardzo małą powierzchnię;

+ – populacja gatunku złożona z kilku (rzadziej kilkunastu) drobnych osobników pokrywających niewielką część na monitorowanej powierzchni;

1 – populacja gatunku umiarkowanie liczna, łączne pokrycie osobników nie przekracza 5% na monitorowanej powierzchni;

2 – pokrycie osobników gatunku wynosi 5–25%;

3 – pokrycie osobników gatunku wynosi 25–50%;

4 – pokrycie osobników gatunku wynosi 50–75%;

5 – pokrycie osobników gatunku wynosi powyżej 75%.

Tabela 6.16.3. Wykaz inwazyjnych gatunków roślin obcego pochodzenia wybranych do monitoringu szczegółowego (stopień inwazyjności przyjęto na podstawie opracowania wykonanego w ramach projektu POIS.02.04.00-00-0100/16-00, realizowanego przez GDOŚ)

Nazwa łacińska	Nazwa polska	Kod	Stopień inwazyjności
Acer negundo	klon jesionolistny	ACER NEG	mało inwazyjny w skali kraju
Ailanthus altissima	bożodrzew gruczołowaty	AILA ALT	bardzo inwazyjny regionalnie
Ambrosia artemisiifolia	ambrozja bylicolistna	AMBR ART	bardzo inwazyjny regionalnie
Amelanchier spicata	świdośliwa kłosowa	AMEL SPI	mało inwazyjny regionalnie
Aster novi-belgii	aster nowobelgijski	ASTE NOV	średnio inwazyjny regionalnie
Bidens frondosa	uczep amerykański	BIDE FRO	średnio inwazyjny w skali kraju
Bromus carinatus	stokłosa spłaszczona	BROM CAR	mało inwazyjny w skali kraju
Clematis vitalba	powojnik pnący	CLEM VIT	średnio inwazyjny regionalnie
Echinocystis lobata	kolczurka klapowana	ECHI LOB	średnio inwazyjny w skali kraju
Fallopia japonica	rdestowiec ostrokończysty	FALL JAP	bardzo inwazyjny w skali kraju
Fallopia sachalinensis	rdestowiec sachaliński	FALL SAC	bardzo inwazyjny w skali kraju
Fallopia x *bohemica*	rdestowiec czeski	FALL BOH	bardzo inwazyjny w skali kraju
Fraxinus pennsylvanica	jesion pensylwański	FRAX PEN	mało inwazyjny w skali kraju
Helianthus tuberosus	słonecznik bulwiasty	HELI TUB	średnio inwazyjny w skali kraju
Heracleum mantegazzianum	barszcz Mantegazziego	HERA MAN	bardzo inwazyjny w skali kraju
Heracleum sosnowskyi	barszcz Sosnowskiego	HERA SOS	bardzo inwazyjny w skali kraju
Impatiens glandulifera	niecierpek gruczołowaty	IMPA GLA	średnio inwazyjny w skali kraju
Impatiens parviflora	niecierpek drobnokwiatowy	IMPA PAR	mało inwazyjny w skali kraju
Lupinus polyphyllus	łubin trwały	LUPI POL	średnio inwazyjny w skali kraju
Padus serotina	czeremcha amerykańska	PADU SER	średnio inwazyjny w skali kraju

Nazwa łacińska	Nazwa polska	Kod	Stopień inwazyjności
Parthenocissus inserta	winobluszcz zaroślowy	PART INS	średnio inwazyjny regionalnie
Quercus rubra	dąb czerwony	QUER RUB	średnio inwazyjny w skali kraju
Robinia pseudacacia	robinia akacjowa	ROBI PSE	średnio inwazyjny w skali kraju
Rosa rugosa	róża pomarszczona	ROSA RUG	średnio inwazyjny regionalnie
Rudbeckia laciniata	rudbekia naga	RUDB LAC	średnio inwazyjny regionalnie
Solidago canadensis	nawłoć kanadyjska	SOLI CAN	średnio inwazyjny w skali kraju
Solidago gigantea	nawłoć późna	SOLI GIG	średnio inwazyjny w skali kraju
Spiraea tomentosa	tawuła kutnerowata	SPIR TOM	średnio inwazyjny regionalnie
Xanthium albinum	rzepień włoski	XANT ALB	średnio inwazyjny w skali kraju

Ryc. 6.16.2. Przykładowe gatunki roślin obcego pochodzenia objęte programem J3: A – niecierpek drobnokwiatowy *Impatiens parviflora*, B – niecierpek gruczołowaty *Impatiens glandulifera*

Na wszystkich stanowiskach z inwazyjnymi gatunkami roślin obcego pochodzenia, po dokonaniu opisu lokalizacji, składu gatunkowego oraz ich liczebności, nie usuwamy roślin obcych. W przypadku konieczności przeprowadzenia takiego zabiegu notujemy metodę i datę jego przeprowadzenia. Wówczas w następnych sezonach monitorowana będzie skuteczność przeprowadzonego zabiegu. W przypadku braku obcych gatunków na danym stanowisku (np. w wyniku zabiegów ich usuwania) w kolejnych sezonach nadal należy prowadzić obserwacje na tych stanowiskach.

W ramach programu podstawowego (obligatoryjnego) na wszystkich powierzchniach próbnych (1 × 1 m) co dwa lata prowadzone są badania roślin inwazyjnych obcego pochodzenia, czyli notowana jest liczba gatunków inwazyjnych, a dla każdego gatunku liczone są nadziemne pędy roślin. Termin wykonania badań

zależy od gatunku rośliny monitorowanej (m.in. od okresu jej kwitnienia), ale generalnie badania należy prowadzić w okresie lipiec–sierpień (np. dla niecierpka drobnokwiatowego badania można przeprowadzić w lipcu, natomiast dla nawłoci dobrym okresem jest wrzesień). Uzyskane wyniki będą porównywane z danymi wyjściowymi i na tej podstawie dokonywana będzie ocena zmian populacji inwazyjnych gatunków roślin obcych geograficznie oraz ocena powodowanego przez nie zagrożenia dla rodzimej flory i siedlisk przyrodniczych zlewni. Podstawowymi wskaźnikami monitoringu szczegółowego są: liczba gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia, liczebność nadziemnych pędów generatywnych i wegetatywnych u gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – dotyczy wyłącznie roślin zielnych, liczebność nadziemnych pędów juwenilnych i dorosłych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – dotyczy wyłącznie drzew i krzewów (tab. 6.16.4).

Tabela 6.16.4. Wskaźniki obligatoryjne dotyczące stałych powierzchni (stanowisk badawczych – powierzchni 10 × 10 m) oraz powierzchni próbnych 1 × 1 m

Wskaźnik	Miara	Sposób pomiaru/obliczenia
Liczba gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia NSPEC_I_P1	liczba całkowita	liczymy wszystkie gatunki aktualnie występujące na wszystkich powierzchniach próbnych 1 × 1 m, w obrębie jednego stanowiska badawczego
Liczebność nadziemnych pędów juwenilnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – dotyczy wyłącznie drzew i krzewów JUVE_TS_P1	średnia arytmetyczna – n/1 m^2	liczymy wszystkie młode (juwenilne – do 1 m wysokości) nadziemne pędy na powierzchniach próbnych (1 × 1 m) i na ich podstawie obliczamy wartość średnią dla danego stanowiska badawczego
Liczebność nadziemnych pędów dorosłych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – dotyczy wyłącznie drzew i krzewów ADULT_TS_P10	liczba całkowita/100 m^2	liczymy wszystkie dorosłe (wyższe niż 1 m) nadziemne pędy na danym stanowisku badawczym (10 × 10 m)
Liczebność nadziemnych pędów generatywnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – dotyczy wyłącznie roślin zielnych GENE_H_P1	średnia arytmetyczna – n/1 m^2	liczymy wszystkie nadziemne pędy generatywne (z kwiatami i/lub owocami) na powierzchniach próbnych (1 × 1 m) i na ich podstawie obliczamy wartość średnią dla danego stanowiska badawczego
Liczebność nadziemnych pędów wegetatywnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – dotyczy wyłącznie roślin zielnych VEGE_H_P1	średnia arytmetyczna – n/1 m^2	liczymy wszystkie nadziemne pędy wegetatywne (bez kwiatów i/lub owoców) na powierzchniach próbnych (1 × 1 m) i na ich podstawie obliczamy wartość średnią dla danego stanowiska badawczego

W ramach programu rozszerzonego na wszystkich stanowiskach badawczych (10 × 10 m) co dwa lata wykonywane są zdjęcia fitosocjologiczne (w pierwszym roku badań zdjęcia zostały wykonane przy zakładaniu stanowisk badawczych).

Prace należy prowadzić w pełni sezonu wegetacyjnego. Uzyskane wyniki posłużą do określenia udziału gatunków obcych we florze stanowiska badawczego. Wskaźnikami monitoringu szczegółowego programu rozszerzonego są: liczba gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia na całym stanowisku badawczym, określona na podstawie zdjęcia fitosocjologicznego, procentowy udział inwazyjnych gatunków obcych we florze stanowiska badawczego (tab. 6.16.5).

Tabela 6.16.5. Wskaźniki dodatkowe (dotyczą stałych powierzchni – stanowisk badawczych)

Wskaźnik	Miara	Sposób pomiaru/obliczenia
Liczba gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia na całym stanowisku badawczym NSPEC_I_P10	liczba całkowita/100 m^2	liczymy wszystkie gatunki aktualnie występujące na stanowisku badawczym (10 × 10 m), na podstawie zdjęcia fitosocjologicznego
Udział gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia we florze stanowiska badawczego FREQS_I_P10	wartość procentowa (z dokładnością do jednego miejsca po przecinku)	obliczamy stosunek liczby obcych gatunków inwazyjnych do liczby wszystkich gatunków roślin występujących na stanowisku badawczym i wyrażamy go w procentach

6.16.3. Raportowanie danych do bazy danych

Kodowanie danych z monitoringu ogólnego

W ramach monitoringu ogólnego kodowaniu do Centralnej Bazy Danych ZMŚP podlegają tylko trzy parametry: liczba gatunków i liczba kwadratów (stanowisk) w odniesieniu do poszczególnych gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia oraz liczba wszystkich przebadanych kwadratów (tab. 6.16.6). Należy kodować jedynie 29 wybranych gatunków, z których 20 wykazuje inwazyjność w skali

Tabela 6.16.6. Kodowanie danych – monitoring ogólny

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka, dokładność	Zapis do bazy danych	Częstotliwość pomiarów
cała zlewnia					
Liczba gatunków	NSPEC_I_DB	ZM	[–], 0	pojedynczy wynik	co roku, przez cały sezon wegetacyjny
Liczba kwadratów MGRS w odniesieniu do poszczególnych gatunków	NUM_MGRS_DB	ZM	[–], 0	pojedynczy wynik	co roku, przez cały sezon wegetacyjny
Liczba przebadanych kwadratów MGRS	NUM_MGRS_COM	ZM	[–], 0	pojedynczy wynik	co roku, przez cały sezon wegetacyjny

całego kraju, a 9 regionalnie. Zestawienie wybranych gatunków, wraz z ich kodami oraz stopniem inwazyjności, znajduje się w tabeli 6.16.3.

Kodowanie danych z monitoringu szczegółowego

W ramach monitoringu szczegółowego kodowaniu do Centralnej Bazy Danych ZMŚP podlega pięć parametrów obligatoryjnych (tab. 6.16.7): (1) liczba gatunków inwazyjnych, (2) liczebność pędów juwenilnych (do 1 m wysokości) w odniesieniu do poszczególnych gatunków drzew i krzewów, (3) liczebność pędów dorosłych w odniesieniu do poszczególnych gatunków drzew i krzewów, (4) liczebność pędów generatywnych w odniesieniu do poszczególnych gatunków zielnych, (5) liczebność pędów wegetatywnych w odniesieniu do poszczególnych gatunków zielnych oraz dwa w programie rozszerzonym: (1) liczba gatunków

Tabela 6.16.7. Kodowanie danych (monitoring szczegółowy)

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka, dokładność	Zapis do bazy danych	Częstotliwość pomiarów
program podstawowy (obligatoryjny)					
Liczba gatunków inwazyjnych (powierzchnie 1 × 1 m)	NSPEC_I_P1	ZM	[–], 0	pojedynczy wynik	co 2 lata
Liczebność pędów juwenilnych (do 1 m wysokości) w odniesieniu do poszczególnych gatunków drzew i krzewów	JUVE_TS_P1	ZM	n/m^2, 1	średnia arytmetyczna (kod X)	co 2 lata
Liczebność pędów dorosłych w odniesieniu do poszczególnych gatunków drzew i krzewów	ADULT_TS_P10	ZM	n/100 m^2, 0	pojedynczy wynik	co 2 lata
Liczebność pędów generatywnych w odniesieniu do poszczególnych gatunków zielnych	GENE_H_P1	ZM	n/m^2, 1	średnia arytmetyczna (kod X)	co 2 lata
Liczebność pędów wegetatywnych w odniesieniu do poszczególnych gatunków zielnych	VEGE_H_P1	ZM	n/m^2, 1	średnia arytmetyczna (kod X)	co 2 lata
program rozszerzony					
Liczba gatunków inwazyjnych (cała powierzchnia 10 × 10 m)	NSPEC_I_P10	ZM	N/100 m^2, 0	pojedynczy wynik	co 2 lata
Stosunek liczby gatunków inwazyjnych do liczby gatunków wszystkich roślin (cała powierzchnia 10 × 10 m)	FREQS_I_P10	ZM	%, 1	pojedynczy wynik	co 2 lata

inwazyjnych (cała powierzchnia 10 × 10 m) i (2) stosunek liczby gatunków inwazyjnych do liczby gatunków wszystkich roślin (cała powierzchnia 10 × 10 m).

Kodując dane z monitoringu szczegółowego należy za każdym razem uwzględniać pełen zestaw inwazyjnych gatunków roślin obcego pochodzenia (tab. 6.16.9), niezależnie czy dany gatunek aktualnie występuje na stanowisku badawczym czy nie. Przykład poprawnie zakodowanych danych dla całej zlewni badawczej oraz jednego stanowiska badawczego przedstawia tabela 6.16.8.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- Do bazy danych należy przekazać dane dotyczące wszystkich gatunków inwazyjnych zamieszczonych w wykazie gatunków inwazyjnych. Jeżeli dany gatunek z wykazu nie występuje w zlewni, należy dla każdego parametru obligatoryjnego wprowadzić wiersz z wartością 0 w kolumnie wartość.
- W przypadku parametru liczba gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia (zlewnia) – NSPEC_I_DB uwzględniamy także gatunki spoza wykazu.
- Wykaz gatunków inwazyjnych monitorowanych w ramach programu J3 prezentuje tabela 6.16.9.
- W przypadku parametrów odnoszących się do obszaru całej zlewni badawczych (NSPEC_I_DB, NUM_MGRS_DB, NUM_MGRS_COM) w kolumnie stanowisko umieszczamy wartość 000.
- Dla roślin zielnych podajemy parametry GENE_H_P1 i VEGE_H_P1, natomiast dla drzew, krzewów, pnączy podajemy parametry ADULT_TS_P10 i JUVE_TS_P1.
- W przypadku trudności w rozpoznaniu gatunków: rdestowca czeskiego (FALL BOH), rdestowca ostrokończystego (FALL JAP), rdestowca sachalińskiego (FALL SAC), nawłoci kanadyjskiej (SOLI CAN), nawłoci późnej (SOLI GIG) oraz barszczu Sosnowskiego (HERA SOS) i barszczu Mantegazziego (HERA MAN) do bazy przekazujemy dane na poziomie rodzajów odpowiednio: wszystkie gatunki z rodzaju Fallopia (FALLOPIZ, B4), Solidago (SOLIDAGZ, B4) oraz Heracleum (HERACLEZ, B4).
- W przypadku parametrów: JUVE_TS_P1, GENE_H_P1 oraz VEGE_H_P1 przekazujemy średnie arytmetyczne (kod X), dla pozostałych parametrów kolumna typ danych pozostaje pusta.

Tabela 6.16.8. Zapis danych w bazie danych, program J3 – Monitoring gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – rośliny. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
J3	XXZM	WP	000	ACER NEG	B4		2016-08-01	1	NUM_MGRS_DB	ZM	4							[–]	
J3	XXZM	WP	000	AMEL SPI	B4		2016-08-01	1	NUM_MGRS_DB	ZM	9							[–]	
J3	XXZM	WP	000				2016-08-01	1	NSPEC_I_DB	ZM	17							[–]	
J3	XXZM	WP	094	BROM CAR	ZM		2016-08-01	5	GENE_H_P1	ZM	0		X					(n)/m2	
J3	XXZM	WP	094	FALL BOH	ZM		2018-07–15	5	VEGE_H_P1	ZM	0		X					(n)/m2	
J3	XXZM	WP	094	PRUN SER	B4		2016-08-01	1	ADULT_TS_P10	ZM	0							(n)/100m2	

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium, kod gatunku rośliny, pole opcjonalne (Programy/Media [kategoria – inwazyjne]), F (LM) – kod listy medium, pole obligatoryjne, jeżeli podano kod medium, G (POZ) – pole niewykorzystywane w tym programie, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-DD, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru – oznacza liczbę pojedynczych powierzchni testowych, pole obligatoryjne, J (PA) – kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole opcjonalne (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole niewykorzystywane w tym programie, P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, pole niewykorzystywane w tym programie, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole niewykorzystywane w tym programie, R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole niewykorzystywane w tym programie, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, pole niewykorzystywane w tym programie.

Tabela 6.16.9. Wykaz gatunków inwazyjnych monitorowanych w ramach programu J3 – Monitoring gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – rośliny

Kod gatunku (kolumna medium)	Lista kodowa	Nazwa łacińska	Nazwa swojska	Forma życiowa
ACER NEG	B4	*Acer negundo*	klon jesionolistny	drzewo
ALIA ALT	ZM	*Alianthus altissima*	bożodrzew gruczołowaty	drzewo
AMBR ART	B4	*Ambrosia artemisiifolia*	ambrozja bylicolistna	roślina zielna
AMEL SPI	B4	*Amelanchier spicata*	świdośliwa kłosowa	krzew
ASTE NOB	B4	*Aster novi-belgii*	aster nowobelgijski	roślina zielna
BIDE FRO	B4	*Bidens frondosa*	uczep amerykański	roślina zielna
BROM CAR	ZM	*Bromus carinatus*	stokłosa spłaszczona	roślina zielna
CLEM VIT	B4	*Clematis vitalba*	powojnik pnący	krzew-pnącze
ECHI LOB	ZM	*Echinocystis lobata*	kolczurka klapowana	roślina zielna
FALL BOH	ZM	*Fallopia x bohemica*	rdestowiec czeski	roślina zielna
FALL JAP	ZM	*Fallopia japonica*	rdestowiec ostrokończysty	roślina zielna
FALL SAC	ZM	*Fallopia sachalinensis*	rdestowiec sachaliński	roślina zielna
FRAX PEN	ZM	*Fraxinus pennsylvanica*	jesion pensylwański	drzewo
HELI TUB	B4	*Helianthus tuberosus*	słonecznik bulwiasty	roślina zielna
HERA MAN	B4	*Heracleum mantegazzianum*	barszcz Mantegazziego	roślina zielna
HERA SOS	ZM	*Heracleum sosnowskyi*	barszcz Sosnowskiego	roślina zielna
IMPA GLA	B4	*Impatiens glandulifera*	niecierpek gruczołowaty	roślina zielna
IMPA PAR	B4	*Impatiens parviflora*	niecierpek drobnokwiatowy	roślina zielna
LUPI POL	B4	*Lupinus polyphyllus*	łubin trwały	roślina zielna
PRUN SER	B4	*Padus serotina*	czeremcha amerykańska	drzewo
PART INS	B4	*Parthenocissus inserta*	winobluszcz zaroślowy	krzew-pnącze
QUER RUB	B4	*Quercus rubra*	dąb czerwony	drzewo
ROBI PSE	B4	*Robinia pseudacacia*	robinia akacjowa	drzewo
ROSA RUG	B4	*Rosa rugosa*	róża pomarszczona	krzew
RUDB LAC	B4	*Rudbeckia laciniata*	rudbekia naga	roślina zielna
SOLI CAN	B4	*Solidago canadensis*	nawłoć kanadyjska	roślina zielna
SOLI GIG	B4	*Solidago gigantea*	nawłoć późna	roślina zielna
SPIR TOM	B4	*Spiraea tomentosa*	tawuła kutnerowata	krzew
XANT ALB	ZM	*Xanthium albinum*	rzepień włoski	roślina zielna

Literatura

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9.09.2011 r. w sprawie listy roślin i zwierząt gatunków obcych, które w przypadku uwolnienia do środowiska przyrodniczego mogą zagrozić gatunkom rodzimym lub siedliskom przyrodniczym (Dz.U. nr 210, poz. 1260).

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1143/2014 z dnia 22.10.2014 r. w sprawie działań zapobiegawczych i zaradczych w odniesieniu do wprowadzania i rozprzestrzeniania inwazyjnych gatunków obcych.

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1293/2013 z dnia 11.12.2013 r. w sprawie ustanowienia programu działań na rzecz środowiska i klimatu (LIFE) i uchylające rozporządzenie (WE) nr 614/2007 Tekst mający znaczenie dla EOG.

Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2016/1141 z dnia 13.07.2016 r. przyjmujące wykaz inwazyjnych gatunków obcych uznanych za stwarzające zagrożenie dla Unii zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1143/2014

Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2017/1263 z dnia 12.07.2017 r. aktualizujące wykaz inwazyjnych gatunków obcych uznanych za stwarzające zagrożenie dla Unii ustanowiony w rozporządzeniu wykonawczym Komisji (UE) 2016/1141 na podstawie rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1143/2014.

Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/1262 z dnia 25.07.2019 r. zmieniające rozporządzenie wykonawcze (UE) 2016/1141 w celu aktualizacji wykazu inwazyjnych gatunków obcych stwarzających zagrożenie dla Unii.

Tokarska-Guzik B., Dajdok Z., Zając M., Zając A., Urbisz A., Danielewicz W., Hołdyński C., 2014. Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych. GDOŚ, Warszawa.

6.17. Program K1 – Uszkodzenia drzew i drzewostanów

Grzegorz Zajączkowski

Instytut Badawczy Leśnictwa

6.17.1. Wprowadzenie i cel pomiarów

Zmienne warunki szeroko rozumianego środowiska przyrodniczego mają istotny wpływ na aktualny stan zdrowotny drzew i drzewostanów. Do głównych czynników oddziałujących na ten stan zaliczyć należy warunki pogodowe, w tym przede wszystkim wielkość opadów atmosferycznych i wysokość temperatur. W praktyce wpływ ten przekłada się na występowanie okresów suszy lub powodzi, ciepłych i bezśnieżnych lub też mroźnych i śnieżnych zim oraz na kształtowanie się poziomu wód gruntowych. W ostatnich latach, głównie na skutek zmniejszenia się wielkości opadów, szczególnie w okresie wegetacyjnym, wystąpiły negatywne zjawiska przyczyniające się do osłabienia kondycji zdrowotnej drzewostanów. Ich

wynikiem było pojawienie się obszarów występowania epifitoz chorób infekcyjnych oraz gradacji szkodników owadzich. Stwierdzono też pojawianie się innych szkodliwych organizmów, które do tej pory uważane były za mało szkodliwe dla drzewostanów, np. jemioły.

W skali kraju stan zdrowotny drzew i jego zmiany rejestrowane są w ramach różnych programów pomiarowych (np. wielkoobszarowa inwentaryzacja stanu lasu), jednak głównym źródłem danych z tego zakresu jest, realizowany już od końca lat 90. ubiegłego wieku, monitoring stanu lasów prowadzony w ramach międzynarodowego programu ICP Forests. Zakres pozyskiwanych w ramach tego programu danych wynika z wieloletnich doświadczeń wielu krajów, zaś stosowana w miarę jednolita metodyka umożliwia porównywalność wyników na poziomie międzynarodowym czy regionalnym. Można ją również stosować dla mniejszych obszarach badawczych z uwzględnieniem modyfikacji wynikających ze sposobu doboru drzew do oceny (Manual on methods and criteria… 2016).

Celem realizowanych corocznie pomiarów i obserwacji w ramach programu K1 jest uzyskanie informacji o stanie zdrowotnym drzew i drzewostanów oraz o przyczynach jego zmian w kolejnych latach na obszarach objętych programem ZMŚP.

6.17.2. Metodyka pomiarowa

6.17.2.1. Sieć powierzchni obserwacyjnych

W przypadku występowania na obszarze badawczym (zlewni rzecznej lub jeziornej) obszarów leśnych należy w ich granicach wybrać odpowiednią liczbę drzew do corocznej oceny stanu zdrowotnego. Liczba ta zależeć będzie od zróżnicowania wskazanych do monitorowania zbiorowisk leśnych oraz gatunków drzew. Ze względu na zapewnienie możliwości przeprowadzania wnioskowania statystycznego o zmianach stanu zdrowotnego drzew, należy przyjąć, że minimalna liczba ocenianych drzew danego gatunku w ramach pojedynczego zbiorowiska powinna wynosić 50 sztuk, zaś liczba lokalizacji występowania tego gatunku nie powinna być mniejsza niż 25 (po 2 oceniane drzewa danego gatunku w danej lokalizacji). Oceniane drzewa powinny być schematycznie rozmieszczone na całym obszarze badawczym. Zaleca się zaprojektowanie siatki kwadratów o długości boku dostosowanej do wielkości badanego obszaru i wybór drzew do oceny stanu zdrowotnego położonych w najbliższej odległości od węzłów wymienionej siatki, jednak nie dalej niż 20 m od tych punktów. Drzewa te powinny być oznaczone w sposób umożliwiający ich identyfikację w kolejnych latach obserwacji (np. niewielka kropka farby na odziomku drzewa lub delikatny zacios na korze).

Do oceny stanu zdrowotnego wybiera się tylko drzewa z górnej warstwy drzewostanu, z pierwszych 3 klas Krafta (drzewa górujące, panujące i współpanujące), w wieku minimum 21 lat, których korony w chwili wyboru nie wchodzą w interakcję z koronami sąsiednich drzew (nie przenikają się). Pomiary i obserwacje należy wykonać w pełni okresu wegetacyjnego – zalecany termin to lipiec.

Przykład 1. Zbiorowisko grądowe – oceniany jest tylko stan zdrowotny dębu (drzewostan jednogatunkowy i jednowiekowy).

W granicach monitorowanej zlewni trzeba wyodrębnić wszystkie obszary opisane jako grądy i w ich obrębie wyznaczyć schematycznie minimum 25 lokalizacji punktów węzłowych. Lokalizacje te należy dyskretnie zastabilizować w terenie (np. wkopując metalową rurkę, zaś współrzędne lokalizacji zarejestrować urządzeniem GPS). Dla każdej z lokalizacji do dalszej oceny wskazać po 2 dęby spełniające kryteria wyboru położone najbliżej środka powierzchni. Łącznie ocenie zostanie poddanych minimum 50 drzew.

Przykład 2. Zbiorowisko buczyny karpackiej – oceniane buk, jodła i jawor (drzewostany wielogatunkowe).

W granicach monitorowanej zlewni trzeba wyodrębnić wszystkie obszary opisane jako buczyna karpacka i w ich obrębie wyznaczyć minimum 25 lokalizacji punktów węzłowych zgodnie z przebiegiem opracowanej dla danego zbiorowiska siatki kwadratów. W każdej z lokalizacji wskazać do oceny po 2 drzewa każdego z gatunków, tj. buka, jodły i jaworu, położonych najbliżej węzła siatki – łącznie ocenie zostanie poddanych minimum 150 drzew. W niektórych lokalizacjach mogą nie występować wszystkie wskazane gatunki, a więc ich liczba będzie niższa niż wymagane 50 szt. dla pojedynczego gatunku. Należy wtedy tak zmodyfikować sieć powierzchni, aby występowanie danego gatunku zarejestrować w co najmniej 25 lokalizacjach. W takim przypadku należy zwiększyć liczbę projektowanych punktów węzłowych poprzez schematyczne zagęszczenie siatki w określonych obszarach (np. jeśli przyjęta siatka ma bok 400 × 400 m, to punkty uzupełniające należy wstawić w miejscach przecięć siatki 200 × 200 m – wybrać lokalizację najbliższą tej, w której nie stwierdzono występowania danego gatunku). Można też tak zaprojektować siatkę, aby już na początku zwiększyć liczbę punktów węzłowych (np. do 30), przy zachowaniu stałych odległości pomiędzy nimi, i w ten sposób zapewnić wymaganą minimalną liczbę lokalizacji dla ocenianych drzew (tzn. że każdy z gatunków wystąpi w co najmniej 25 lokalizacjach). Łączna liczba ocenianych drzew może być wtedy większa niż 150 dla danego zbiorowiska.

W każdym z przedstawionych przypadków liczba drzew wybranych do oceny oraz ich rozmieszczenie upoważnia do przeprowadzania analiz statystycznych związanych z badaniem istotności zmian w kondycji zdrowotnej w kolejnych latach.

W przypadku stwierdzenia w danym roku obserwacji wycięcia lub zamarcia drzewa (100% defoliacji) lub istotnego uszkodzenia korony (np. złamanie, przewrócenie się drzewa) skutkującego zmianą przynależności do klasy Krafta (na drzewo przygłuszone lub opanowane) w jego miejsce dobiera się kolejne drzewo (z nowym numerem) spełniające kryteria wyboru, położone najbliżej punktu węzłowego siatki powierzchni. W przypadku nowego drzewa dobranego w miejsce drzewa wyciętego lub wyłączonego z obserwacji, jego ocenę uwzględnia się w danym roku pomiarowym. W przypadku drzewa dobranego w miejsce drzewa martwego, jego ocenę uwzględnia się dopiero w kolejnym roku obserwacji – w danym roku do oceny brane jest drzewo martwe o defoliacji 100%.

6.17.2.2. Zakres pomiarów i obserwacji

Przy ocenie stanu zdrowotnego drzew zaleca się bazowanie na metodyce ICP Forests stosowanej w Polsce w ramach monitoringu lasów.

W ramach obligatoryjnej części programu K1 corocznemu raportowaniu podlegają 2 wartości, tj. średnia defoliacja i średnia wielkość odbarwień rozumiane jako średnie arytmetyczne z oceny wszystkich drzew danego gatunku. Wartości te, podawane w procentach, powinny być raportowane oddzielnie dla każdego z ocenianych zbiorowisk.

Natomiast w bazie danych programu K1 gromadzone są wartości wymienionych wyżej parametrów oddzielnie dla każdego z ocenianych drzew.

Tabela 6.17.1. Parametry obligatoryjne programu pomiarowego K1 – Uszkodzenia drzew i drzewostanów

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka, dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Defoliacja	DEFO	IM	%, 0	1/rok
Odbarwienie	DISC	IM	%, 0	

Powyższe dane generowane są na podstawie danych źródłowych/pomiarowych pozyskiwanych corocznie na obszarze badawczym. Zakres zbieranych w terenie informacji o każdym z ocenianych drzew obejmuje:

1. numer powierzchni/węzła,
2. numer drzewa,
3. identyfikację drzewa na powierzchni (azymut i odległość, pierśnica),
4. gatunek drzewa,
5. wiek drzewa,
6. stanowisko biosocjalne (przynależność do klasy Krafta),
7. defoliację,
8. odbarwienie.

Rejestrowane dane obserwacyjne mogą mieć charakter porządkowy, pomiarowy lub opisowy. Dane porządkowe wskazują na lokalizację punktu węzłowego

Tabela 6.17.2. Wzór formularza pomiarowego do oceny stanu zdrowotnego drzew w ramach programu K1

Nr powierzchni	Nr drzewa	Azymut [°]	Odległość [m]	Pierśnica [cm]	Gatunek drzewa	Wiek drzewa [lata]	Stanowisko biosocjalne	Defoliacja [%]	Odbarwienie [%]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	01	345	3,45	43,1	Jd	82	2	25	0
22	02	89	7,96	38,8	Jd	82	2	30	10
22	03	62	11,25	32,6	Bk	65	3	15	0
22	04	148	15,11	34,6	Bk	65	3	10	0

w drzewostanie oraz lokalizację i identyfikację drzewa na powierzchni (nr powierzchni, nr drzewa, azymut i odległość od środka powierzchni, pierśnica drzewa). Dane opisowe odnoszą się do aktualnego stanu drzewa pod względem jego statusu (gatunek, wiek, stanowisko biosocjalne) oraz kondycji zdrowotnej (defoliacja, odbarwienie). Analiza tak zgromadzonego zestawu danych powinna umożliwić właściwą interpretację oceny stanu zdrowotnego drzew wyrażonego średnią wartością defoliacji koron drzew dla poszczególnych gatunków, a w kolejnych latach zbadanie przyczyny tych zmian oraz ich istotności.

Dane o azymucie i odległości zapisywane w powyższej tabeli określają położenie drzewa względem środka powierzchni; pierśnica stanowi dodatkowy element identyfikacyjny drzewa i jest mierzona na wysokości 1,3 m od odziomka drzewa (ramię średnicomierza skierowane jest do środka powierzchni). Stanowisko biosocjalne podawane jest według klasyfikacji Krafta, gdzie:

1. drzewa górujące,
2. drzewa panujące,
3. drzewa współpanujące,
4. drzewa opanowane,
5. drzewa przygłuszone.

Dane z formularza pomiarowego zasilają bezpośrednio bazę danych programu K1 i są podstawą do wyliczania średnich wartości defoliacji i odbarwień raportowanych zgodnie z treścią tabeli 6.17.1.

Główną miarą aktualnej kondycji zdrowotnej drzew jest defoliacja rozumiana jako ubytek aparatu asymilacyjnego w odniesieniu do drzewa wzorcowego o pełnym ulistnieniu/uigleniu znajdującego się w danym regionie oraz w porównywalnych warunkach siedliskowych i wiekowych. Zaleca się, aby przy ocenie defoliacji zwrócić dodatkowo uwagę na takie parametry, jak: liczba roczników igieł, długość i wielkość liści, występowanie pędów wtórnych, udział martwych gałęzi, uszkodzenia. Wpływają one bowiem pośrednio na wynik oceny defoliacji koron drzew wykonywanej przez obserwatora.

Defoliacja szacowana jest w terenie z dokładnością do 5% w przedziale od 0 do 100% (defoliacja 0% – drzewo o pełnym ulistnieniu, defoliacja 100% – drzewo całkowicie pozbawione liści lub igieł, ew. martwe). Ze względu na subiektywny charakter oceny wymienionego parametru, należy/można wspomagać się dostępnymi atlasami prezentującymi korony o różnym stopniu defoliacji. W terenie ocena defoliacji pojedynczego drzewa powinna być wykonywana na podstawie lustracji korony z 4 stron. Zaleca się, aby ocenę przeprowadzał 2osobowy zespół taksatorów, z których każdy wykonywałby niezależną obserwację. Do formularza pomiarowego zapisać należy uzgodniony przez nich wynik oceny.

W podobny sposób szacowane powinny być widoczne w koronach drzew odbarwienia liści i igliwia (z dokładnością do 5% w przedziale od 0 do 100%).

W ramach programu rozszerzonego (nieobligatoryjnego) przewiduje się możliwość rejestracji dodatkowych parametrów, wymienionych w tabeli 6.17.3, z których część zaleca się pozyskiwać corocznie (parametry opisujące kondycję aktualną drzewa), a część w okresach 5-letnich (parametry opisujące wielkość i kształt drzewa).

W przypadku realizacji rozszerzonego zakresu programu formularz pomiarowy przedstawiony w tabeli 6.17.2 należy uzupełnić o dodatkowe kolumny, w których zapisywane byłyby informacje o wartościach parametrów zamieszczonych w tabeli 6.17.3.

Tabela 6.17.3. Parametry rozszerzone programu pomiarowego K1 – Uszkodzenia drzew i drzewostanów

Parametr	Kod parametru	Lista kodowa	Jednostka, dokładność (liczba miejsc dziesiętnych)	Częstotliwość pomiarów
Wtórne przyrosty igieł (drzewa iglaste)	SECS	IM	kod, 0–3	1/rok
Liczba roczników igliwia (drzewa iglaste)	ANF	IM	[–], 0	
Uszkodzenie drzewa	DAM_(c) c = kod przyczyny uszkodzenia	ZM	kod literowy	
Wysokość drzewa	HEIG	IM	m, 1	1/5 lat
Wysokość korony	HCROW	IM	m, 1	
Szerokość korony	WCROW	IM	m, 1	

gdzie parametr uszkodzenia drzewa (DAM_(c)) koduje się w następujący sposób:

Kod	Opis
E	zgryzanie i spałowanie
R	uszkodzenie szyi korzeniowej i pędów
I	owady
F	grzyby
B	butwienie (zgnilizny)
M	mechaniczne (śnieg, wiatr)
C	klimat (susza, przymrozki)
P	zanieczyszczenie powietrza, skażenie gleby
U	inne i nieznane

a klasyfikację wtórnych przyrostów igieł (SECS) podaje się według poniższych kodów:

Kod	Opis
0	tylko normalne przyrosty
1	wtórnych przyrostów mniej niż normalnych
2	wtórnych przyrostów więcej niż normalnych
3	tylko wtórne przyrosty

6.17.3. Ocena stanu zdrowotnego drzew

W celu określenia aktualnego stanu zdrowotnego drzew w drzewostanie wyniki szacowania defoliacji i odbarwień grupuje się oddzielnie według gatunków w następujące klasy:

klasa 0 (bez defoliacji/bez odbarwień) – od 0 do 10%,
klasa 1 (lekka defoliacja/lekkie odbarwienia) – od 11 do 25%,
klasa 2 (średnia defoliacja/średnie odbarwienia) – od 26 do 60%,
klasa 3 (duża defoliacja/duże odbarwienia) – od 61 do 99%,
klasa 4 (drzewa martwe) – 100%.

Na podstawie kombinacji klas defoliacji i odbarwienia określa się przynależność drzewa do tzw. klasy uszkodzenia według następującego schematu:

Klasa defoliacji	Klasa odbarwienia				
	0	1	2	3	4
	Klasa uszkodzenia				
0	0	0	1	2	
1	1	1	2	2	
2	2	2	3	3	
3	3	3	3	3	
4					4

0 – klasa bez uszkodzeń
1 – klasa ostrzegawcza
2 – klasa lekkich i średnich uszkodzeń
3 – klasa dużych uszkodzeń
4 – drzewa martwe

Określenie zmian w czasie kondycji zdrowotnej drzew danego gatunku na danym obszarze – zgodnie z międzynarodowymi normami – dokonywane jest poprzez porównanie zmiany udziału procentowego poszczególnych klas uszkodzeń dla danego gatunku w kolejnych latach. Jeżeli na danym terenie nie stwierdza się istotnych ilościowo i jakościowo odbarwień w koronach drzew, to przy raportowaniu i interpretowaniu zmian stanu zdrowotnego można ograniczyć się wyłącznie do podawania zmian udziału klas defoliacji.

Do porównań w czasie stanu zdrowotnego drzew można też wykorzystywać wartość średniej defoliacji raportowaną dla ocenianych gatunków w kolejnych latach.

6.17.4. Raportowanie danych do bazy danych

Raportowanie danych do Centralnej Bazy Danych ZMŚP powinno odbywać się zgodnie z aktualnymi wytycznymi. Przykładowy arkusz danych dla programu obligatoryjnego zaprezentowano w tabeli 6.17.4.

Dodatkowe zasady kodowania danych do bazy

- Stanowiskiem pomiarowym jest pojedyncza lokalizacja punktu węzłowego. Wyniki podajemy dla każdego drzewa oddzielnie. Kolumna typ danych pozostaje pusta.
- Wartości defoliacji (DEFO) i odbarwienia (DISC) podajemy z dokładnością do 5% w przedziale od 0 do 100%.
- W kolumnie INFO (T) podajemy unikalny numer drzewa na stanowisku pomiarowym.

Tabela 6.17.4. Zapis danych w bazie danych, program K1 – Uszkodzenia drzew i drzewostanów. Oprac. R. Kruszyk

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
PR	SB	IN	ST	ME	LM	POZ	DATA	SK	PA	LP	Wartość	JD	TD	PP	LPP	MP	LMP	JE	INFO
K1	XXZM	SG	120	PINU SYL	B4		2016-07–10	1	DEFO	IM	25							%	1
K1	XXZM	SG	120	PINU SYL	B4		2016-07–10	1	DISC	IM	0							%	1
K1	XXZM	SG	125	PINU SYL	B4		2016-07–10	1	DISC	IM	10							%	2
K1	XXZM	SG	144	PINU SYL	B4		2016-07–10	1	DISC	IM	0							%	1

Kolumna: A (PR) – kod programu, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), B (SB) – kod Stacji Bazowej, pole obligatoryjne, C (IN) – kod instytucji wykonującej pomiar, pole obligatoryjne (Instytucje/Instytucje), D (ST) – kod stanowiska pomiarowego, pole obligatoryjne (Instytucje/Programy na stanowiskach), E (ME) – kod medium, kod gatunku rośliny, pole obligatoryjne (Programy/Media [kategoria – drzewa]), F (LM) – kod listy medium, pole obligatoryjne, jeżeli podano kod medium, G (POZ) – pole niewykorzystywane w tym programie, H (DATA) – data pomiaru w formacie RRRR-MM-DD, pole obligatoryjne, I (SK) – skala pomiaru – oznacza liczbę drzew, pole obligatoryjne, J (PA) kod parametru pomiarowego, pole obligatoryjne, K (LP) – kod listy parametrów, pole obligatoryjne, L (Wartość) – wartość pomiaru, pole obligatoryjne, M (JD) – kod jakości danych, pole opcjonalne (Opisy/Jakość danych), N (TD) – kod typu danych, pole niewykorzystywane w tym programie (Opisy/Typy danych), O (PP) – kod metody wstępnego przygotowania próbki, pole niewykorzystywane w tym programie, P (LPP) – kod listy metod wstępnego przygotowania próbki, pole niewykorzystywane w tym programie, Q (MP) – kod metody analitycznej, pole niewykorzystywane w tym programie, R (LMP) – kod listy metod analitycznych, pole niewykorzystywane w tym programie, S (JE) – jednostka pomiaru, pole obligatoryjne (Programy/Parametry w programach), T (INFO) – dodatkowa informacja, w kolumnie należy podać unikalny numer drzewa na stanowisku (lokalizacji punktu węzłowego).

Literatura

Beker C., 1993. Ocena defoliacji drzew jako podstawowe kryterium klasyfikacji stanu zdrowotnego lasu. Prace IBL, ser. B, 18: 89–94.

Borecki T., Kaczyński A., 1992. Atlas ubytku aparatu asymilacyjnego drzew leśnych. Warszawa.

Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, 2016. UNECE, ICP Forests, Eberswalde.

Monitoring lasów w Polsce (http://www.gios.gov.pl/monlas/definicja.html).

Pohlert T., 2018. Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection. R package version 1.1.0 (https://CRAN.R-project.org/package=trend).

R Core Team, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (https://www.R-project.org)/.

Sierota Z., Szczepkowski A., 2014. Rozpoznawanie chorób infekcyjnych drzew leśnych. CILP, Warszawa.

Wawrzoniak J. (red.), 2018. Stan zdrowotny lasów w Polsce w 2017 roku na podstawie badań monitoringowych. Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi, Sękocin Stary.

Zajączkowski G. (red.), 2019. Raport o stanie lasów w Polsce 2018. CILP, Warszawa.

7. Programy analityczne Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

7.1. Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi

Zbigniew Zwoliński

Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

7.1.1. Wprowadzenie, cel analiz

Środowisko przyrodnicze jest bardzo czułym indykatorem zmian zachodzących w różnych skalach przestrzennych – od lokalnej poprzez regionalną do globalnej. Holistyczne zmiany środowiska przyrodniczego w sensie zmian w obrębie georóżnorodności, bioróżnorodności i technoróżnorodności w sposób syntetyczny wyrażają zmiany w naturalnym pokryciu terenu i antropogenicznym użytkowaniu ziemi. Rejestracja tych zmian umożliwia wykonanie oceny kierunków przekształceń i dynamiki środowiska przyrodniczego, a także próbę podjęcia prognoz krótkoterminowych zmian w zlewni reprezentatywnej danego geoekosystemu. Na potrzeby Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Polsce niezbędne jest rozgraniczenie pomiędzy pokryciem terenu a użytkowaniem ziemi jako geoindykatorów i bioindykatorów zmian w geoekosystemach (Sims 1995, De Bie 1996):

- **Pokrycie terenu** jest obserwowaną geo-bio-fizyczną pokrywą widzianą z powierzchni ziemi lub poprzez zdalną rejestrację, obejmującą roślinność (naturalną i uprawną) oraz sztuczne konstrukcje (budynki, drogi itd.), które przykrywają powierzchnię ziemi. Woda, lód, naga skała oraz powierzchnie piaszczyste są zaliczane do pokrycia terenu.
- **Użytkowanie ziemi** wyraża funkcję, cel, dla których dany obszar jest używany. Zatem użytkowanie ziemi może być definiowane jako zestaw działalności podjętej dla produkcji jednego lub więcej towarów albo usług. Pewien typ użytkowania ziemi może mieć miejsce na pojedynczym lub więcej niż jednym fragmencie obszaru, natomiast kilka typów użytkowania ziemi może występować na tym samym fragmencie danego obszaru. Taka definicja użytkowania ziemi daje podstawy do dokładnej i ilościowej analizy ekonomicznej i środowiskowej oraz pozwala precyzyjnie wydzielić typy użytkowania ziemi.

Celem pomiarów w programie Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi jest odtworzenie, bieżąca rejestracja i przewidywanie zmian środowiskowych

w wybranych geoekosystemach przy uwzględnieniu miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, w ujęciu zintegrowanym w przestrzennej skali lokalnej i regionalnej oraz w czasowej skali krótko-, średnio- i długoterminowej. Cel ten należy interpretować następująco:

- **Odtworzenie** – w oparciu o historyczne zdjęcia lotnicze, mapy topograficzne i tematyczne, obrazy satelitarne.
- **Bieżąca rejestracja** – monitoring satelitarny, bieżące ortofotomapy.
- **Przewidywanie** – wskazywanie ewentualnych zagrożeń geoekologicznych.
- **Zmiany środowiskowe** – zmiany w pokryciu terenu i użytkowaniu ziemi jako odzwierciedlenie syntetycznej rejestracji geoindykatorów i bioindykatorów.
- **Wybrane geoekosystemy** – obszary Stacji Bazowych ZMŚP lub ich fragmenty (subsystemy).
- **Ujęcie zintegrowane**
  - **Ujęcie abiotyczne** – programy pomiarowe A, B, C, E, F i H.
  - **Ujęcie biotyczne** – programy pomiarowe D, G, I, J, K.
  - **Ujęcie antropiczne** – procesy demograficzne, gospodarka zasobami, działalność ekonomiczna, polityka ekologiczna i regionalna (planowanie przestrzenne), rozwój zrównoważony; dane wyjaśniające urzędów statystycznych.
- **Skale przestrzenne**
  - **Skala lokalna** – obszar geoekosystemu Stacji Bazowej ZMŚP wraz z otuliną.
  - **Skala regionalna** – obszar strefy krajobrazowej (morfogenetycznej).
  - **Skala globalna** – obszar strefy klimatycznej (umiarkowanej).
- **Skale czasowe**
  - **Skala krótkoterminowa** – częstotliwość pomiarów od 1 sekundy do 1 miesiąca (obrazy satelitarne – kilkanaście dni).
  - **Skala średnioterminowa** – sezonowa częstotliwość pomiarów od 1 miesiąca do 1 roku (kartowania terenowe, zdjęcia lotnicze).
  - **Skala długoterminowa** – wieloletnia częstotliwość pomiarów od 1 roku do około 150 lat (mapy topograficzne, zdjęcia lotnicze, obrazy satelitarne).
- **Korelacja programowa**
  - **Korelacja bezpośrednia**:
    - **Program analityczny** – świadczenia usług geoekosystemów.
    - **Program analityczny** – modelowanie zmian bilansu wodnego i biogeochemicznego dla zlewni reprezentatywnych ZMŚP.
  - **Korelacja pośrednia**:
    - **Program pomiarowy J2**: Struktura i dynamika szaty roślinnej.
    - **Program pomiarowy J3**: Monitoring gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – rośliny.
    - **Program pomiarowy K1**: Uszkodzenia drzew i drzewostanów.

7.1.2. Metodyka

Podstawą klasyfikacji typów pokrycia terenu i użytkowania ziemi jest przyjęta dla kontynentu europejskiego baza danych CORINE Land Cover, rozwijana i utrzymywana przez Europejską Agencję Środowiska (GIOŚ 2020). Baza danych CORINE Land Cover udostępnia paneuropejski inwentarz geo-bio-fizycznych typów pokrycia terenu. Dane są dostępne w rastrach 250 × 250 m, które zostały zagregowane z oryginalnych danych wektorowych w skali 1:100 000. Na potrzeby ZMŚP zaleca się wykorzystywanie danych rastrowych o rozdzielczości 100 × 100 m. CORINE Land Cover jest kluczową bazą danych dla zintegrowanej oceny środowiska (tab. 7.1.1).

Tabela 7.1.1. Specyfikacja danych z CORINE Land Cover (GIOŚ 2020)

Specyfikacja	CLC 1990	CLC 2000	CLC 2006	CLC 2012	CLC 2018
Dane źródłowe	Landsat 4/5 TM Obrazy dla 1 okresu	Landsat 7 ETM Obrazy dla 1 okresu	SPOT-4/5, IRS P6 LISS III Obrazy z 2 okresów	IRS P6 LISS III, RapidEye Obrazy z 2 okresów	Sentinel–2 A/B, Landsat 8 Obrazy z 2 okresów
Pozyskanie danych satelitarnych	1986–1995	2000 +/– 1 rok	2006 +/– 1 rok	2011–2012	2017
Dokładność geometryczna obrazów satelitarnych	50 m	25 m	25 m	25 m	10–15 m
Minimalna powierzchnia/ szerokość wydzielenie	25 ha/ 100 m	25 ha/ 100 m	25 ha/ 100 m	25 ha/ 100 m	25 ha/ 100 m
Dokładność położenia wydzieleń	100 m	powyżej 100 m	powyżej 100 m	powyżej 100 m	powyżej 100 m
Metadane	brak	metadane zgodne z ISO 19115	metadane zgodne z ISO 19115	metadane zgodne z INSPIRE	metadane zgodne z INSPIRE
Zasady dostępu do danych	brak jasnych zasad	dostęp bezpłatny dla użytkowników niekomercyjnych	dostęp bezpłatny	dostęp bezpłatny	dostęp bezpłatny
Instytucje udostępniające wyniki krajowych projektów Corine Land Cover	IGiK	GIOŚ	GIOŚ	GIOŚ – CLC 2012 IGiK-HRL (High Resolution Layers)	GIOŚ – CLC 2018 IGiK-HRL2015 (High Resolution Layers)

Specyfikacja	CLC 1990	CLC 2000	CLC 2006	CLC 2012	CLC 2018
Materiały uzupełniające	mapy topograficzne w skalach 1:50 000, 1:100 000, mapy tematyczne, plany miast, zdjęcia lotnicze (materiały analogowe)	mapy topograficzne w skalach 1:50 000, 1:100 000, mapy tematyczne, plany miast, zdjęcia lotnicze (materiały analogowe)	mapy topograficzne w skalach 1:50 000, 1:100 000, mapy tematyczne, plany miast, ortofotomapy (materiały cyfrowe)	baza topograficzna BDOT10K w formie usługi WMS udostępnianej za pośrednictwem krajowego geoportalu infrastruktury informacji przestrzennej – ortofotomapy obszaru Polski – archiwalne i aktualne zdjęcia satelitarne przechowywane w Google Earth	archiwalne i aktualne zdjęcia satelitarne przechowywane w Google Earth – ortofotomapy w formie usługi WMS udostępnianej za pośrednictwem krajowego geoportalu infrastruktury informacji przestrzennej

W opracowaniu bazy danych CORINE Land Cover (CLC) poziomu 3 przyjęto następujące założenia techniczne (GIOŚ 2020):

- kartowanie pokrycia terenu jest prowadzone z dokładnością odpowiadającą mapie w skali 1:100 000;
- minimalna jednostka wydzielenia (minimum mapping unit, MMU) wynosi 25 ha;
- minimalna szerokość elementów liniowych 100 m;
- dokładność prowadzenia granic poszczególnych form pokrycia terenu wynosi 100 m;
- kartowanie zmian rzeczywistych o minimalnej powierzchni 5 ha i szerokości co najmniej 100 m widoczne na zdjęciach satelitarnych.

Baza CLC2000, CLC2006, CLC2012 dla obszaru Polski zostały zapisane w systemie odniesień przestrzennych PL_EUREF89/1992 (ETRS89 Poland, EPSG:2180) o następujących parametrach (GIOŚ 2020):

- elipsoida: GRS80,
- dłuższa oś elipsoidy: 6 378 137 m,
- odwzorowanie: Transverse Mercator,
- jednostki: metry,
- południk środkowy: 19,0 E,
- współrzędne początku układu: x = 500 000 m, y = –5 300 000 m,
- zmienność skali na południku osiowym: 0,9993.

Nomenklatura CORINE Land Cover wyróżnia 44 klasy, które są pogrupowane w hierarchii 3-poziomowej i są nienaruszalne na wszystkich poziomach (tab. 7.1.2):

- Pierwszy poziom (5 wydzieleń) wskazuje główne kategorie (w mniejszym lub większym stopniu) występujące na kuli ziemskiej. Do kategorii głównego poziomu należą:
  - powierzchnie sztuczne (antropogeniczne),
  - obszary rolnicze,
  - obszary leśne i półnaturalne,
  - mokradła,
  - obiekty wodne.
- Drugi poziom (15 wydzieleń) przeznaczony jest dla map w skali 1:500 000 do 1:1 000 000.
- Trzeci poziom (44 wydzielenia) przeznaczony jest dla map w skali 1:100 000.
- Czwarty poziom (123 wydzielenia) przeznaczony jest dla map w skali od 1:10 000 do 1:50 000.

Tabela 7.1.2. Klasyfikacja typów pokrycia terenu i użytkowania ziemi według CORINE Land Cover (GIOŚ 2020, zmienione)

Kod	Poziom 1	Kod	Poziom 2	Kod	Poziom 3
1	Powierzchnie sztuczne	1.1	Zabudowa miejska	1.1.1	Zabudowa zwarta
				1.1.2	Zabudowa nieciągła
		1.2	Obszary przemysłowe, handlowe i transportowe	1.2.1	Obszary przemysłowe lub handlowe
				1.2.2	Sieć drogowa i kolejowa wraz obszarami przyległymi
				1.2.3	Obszary portowe
				1.2.4	Lotniska
		1.3	Kopalnie, zwałowiska i place budowy	1.3.1	Miejsca wydobycia kopalin
				1.3.2	Zwałowiska
				1.3.3	Place budowy
		1.4	Sztuczne, porośnięte obszary niewykorzystywane rolniczo	1.4.1	Zieleńce miejskie
				1.4.2	Urządzenia sportowe i rekreacyjne
2	Obszary rolnicze	2.1	Grunty orne	2.1.1	Grunty orne zmeliorowane
				2.1.2	Obszary stale nawadniane
				2.1.3	Pola ryżowe
		2.2	Sady	2.2.1	Winnice
				2.2.2	Ogrody
				2.2.3	Gaje oliwkowe
		2.3	Pastwiska	2.3.1	Pastwiska
		2.4	Różnorodne obszary rolnicze	2.4.1	Uprawy jednoroczne stowarzyszone z uprawami trwałymi
				2.4.2	Uprawy wielozmianowe
				2.4.3	Obszary głównie rolnicze z zaroślami i zadrzewieniami śródpolnymi
				2.4.4	Obszary rolniczo-leśne

Kod	Poziom 1	Kod	Poziom 2	Kod	Poziom 3
3	Lasy i obszary półnaturalne	3.1	Lasy	3.1.1	Lasy szerokolistne
				3.1.2	Lasy iglaste
				3.1.3	Lasy mieszane
		3.2	Krzaki i /lub zespoły roślinności zielnej	3.2.1	Użytki zielone
				3.2.2	Wrzosowiska
				3.2.3	Roślinność twardolistna
				3.2.4	Przejściowe tereny leśne/zakrzewienia
		3.3	Powierzchnie otwarte z małą ilością lub bez roślinności	3.3.1	Plaże, wydmy, piaski
				3.3.2	Nagie skały
				3.3.3	Obszary roślinności przerzedzonej
				3.3.4	Obszary wypalone
				3.3.5	Lodowce i wieloletnie pola śnieżne
4	Mokradła	4.1	Mokradła śródlądowe	4.1.1	Bagna śródlądowe
				4.1.2	Torfowiska
		4.2	Mokradła nadbrzeżne	4.2.1	Bagna słone
				4.2.2	Saliny
				4.2.3	Równiny pływowe
5	Obiekty wodne	5.1	Wody śródlądowe	5.1.1	Cieki i kanały wodne
				5.1.2	Zbiorniki wodne
		5.2	Wody morskie	5.2.1	Jeziora nadbrzeżne
				5.2.2	Estuaria
				5.2.3	Morza i ocean

W programie obligatoryjnym należy stosować ujednoliconą dla wszystkich Stacji Bazowych klasyfikację pokrycia terenu i użytkowania ziemi według CORINE Land Cover na poziomie 3 (tab. 7.1.3). W przypadku programu rozszerzonego oraz w trakcie dodatkowych prac analitycznych w wybranych geoekosystemach zaleca się stosowanie klasyfikacji pokrycia terenu i użytkowania ziemi na poziomie 4 hierarchicznym, uszczegóławiając klasyfikację CLC według Zwolińskiego i Gudowicz (2018) (tab. 7.1.4).

Tabela 7.1.3. Klasyfikacja i legenda poziomu 3 (Zwoliński, Gudowicz 2018, uzupełnione)

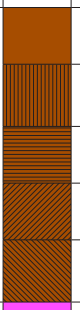
Kod	Poziom 1	Kolor	RGB	Kod	Poziom 3
1	Powierzchnie sztuczne		230,0,77	1.1.1	Zabudowa zwarta
			255,0,0	1.1.2	Zabudowa nieciągła
			204,77,242	1.2.1	Obszary przemysłowe lub handlowe
			204,0,0	1.2.2	Sieć drogowa i kolejowa wraz obszarami przyległymi
			230,204,204	1.2.3	*Obszary portowe*
			230,204,230	1.2.4	*Lotniska*
			166,0,204	1.3.1	Miejsca wydobycia kopalin

Kod	Poziom 1	Kolor	RGB	Kod	Poziom 3
1	Powierzchnie sztuczne		166,77,0	1.3.2	Zwałowiska
			255,77,255	1.3.3	Place budowy
			255,166,255	1.4.1	Zieleńce miejskie
			255,230,255	1.4.2	Urządzenia sportowe i rekreacyjne
2	Obszary rolnicze		255,255,166	2.1.1	Grunty orne zmeliorowane
			255,255,0	2.1.2	Obszary stale nawadniane
			230,230,0	2.1.3	*Pola ryżowe*
			230,128,0	2.2.1	Winnice
			242,166,77	2.2.2	Ogrody
			230,166,0	2.2.3	*Gaje oliwkowe*
			230,230,77	2.3.1	Pastwiska
			255,230,166	2.4.1	Uprawy jednoroczne stowarzyszone z uprawami trwałymi
			255,230,77	2.4.2	Uprawy wielozmianowe
			230,204,77	2.4.3	Obszary głównie rolnicze z zaroślami i zadrzewieniami śródpolnymi
			242,204,166	2.4.4	Obszary rolniczo-leśne
3	Lasy i obszary półnaturalne		128,255,0	3.1.1	Lasy szerokolistne
			0,166,0	3.1.2	Lasy iglaste
			77,255,0	3.1.3	Lasy mieszane
			204,242,77	3.2.1	Użytki zielone
			166,255,128	3.2.2	Wrzosowiska
			166,230,77	3.2.3	*Roślinność twardolistna*
			166,242,0	3.2.4	Przejściowe tereny leśne/zakrzewienia
			230,230,230	3.3.1	Plaże, wydmy, piaski
			204,204,204	3.3.2	Nagie skały
			204,255,204	3.3.3	Obszary roślinności przerzedzonej
			0,0,0	3.3.4	Obszary wypalone
			166,230,204	3.3.5	*Lodowce i wieloletnie pola śnieżne*
4	Mokradła		166,166,255	4.1.1	Bagna śródlądowe
			77,77,255	4.1.2	Torfowiska
			204,204,255	4.2.1	*Bagna słone*
			230,230,255	4.2.2	*Saliny*
			166,166,230	4.2.3	*Równiny pływowe*
5	Obiekty wodne		0,204,242	5.1.1	Cieki i kanały wodne
			128,242,230	5.1.2	Zbiorniki wodne
			0,255,166	5.2.1	*Jeziora nadbrzeżne*
			166,255,230	5.2.2	*Estuaria*
			230,242,255	5.2.3	*Morza i ocean*

Uwaga: w ostatniej kolumnie kursywą zaznaczono te wydzielenia, które nie znajdują zastosowania na Stacjach Bazowych w programie ZMŚP.

Tabela 7.1.4. Klasyfikacja i legenda poziomu 4 (Zwoliński, Gudowicz 2018)

Kod	Poziom 1	Kod	Poziom 3	Symbol	R,G,B	Kod	Poziom 4
1	Powierzchnie sztuczne	1.1.1	Zabudowa zwarta		230,0,77	1.1.1.1	Zabudowa zwarta wielkomiejska
					230,0,77	1.1.1.2	Zabudowa zwarta miejska
		1.1.2	Zabudowa nieciągła		255,0,0	1.1.2.1	Zabudowa nieciągła wielorodzinna
					255,0,0	1.1.2.2	Zabudowa nieciągła jednorodzinna
		1.2.1	Obszary przemysłowe lub handlowe		204,77,242	1.2.1.1	Obszary przemysłowo-składowe
					204,77,242	1.2.1.2	Obszary urządzeń produkcyjnych i usługowych rolnictwa
					204,77,242	1.2.1.3	Obszary specjalistycznej infrastruktury technicznej
					204,77,242	1.2.1.4	Obszary handlowo-usługowe
					204,77,242	1.2.1.5	Obszary użyteczności publicznej
		1.2.2	Sieć drogowa i kolejowa		204,0,0	1.2.2.1	Drogi i obszary związane z komunikacją drogową
					204,0,0	1.2.2.2	Koleje i obszary związane z komunikacją kolejową
		1.2.3	Obszary portowe		230,178,178	1.2.3.1	Porty morskie
					230,178,178	1.2.3.2	Porty śródlądowe
					230,178,178	1.2.3.3	Stocznie
		1.2.4	Lotniska		216,190,216	1.2.4.1	Lotniska o sztucznej nawierzchni dróg startowych
					216,190,216	1.2.4.2	Lotniska o trawiastej nawierzchni dróg startowych
					216,190,216	1.2.4.3	Porty lotnicze – terminale i hangary
		1.3.1	Miejsca wydobycia kopalin		166,0,204	1.3.1.1	Wyrobiska surowców okruchowych i ilastych
					166,0,204	1.3.1.2	Kamieniołomy
					166,0,204	1.3.1.3	Kopalnie odkrywkowe
					166,0,204	1.3.1.4	Wyrobiska rekultywowane i zarastające roślinnością

Kod	Poziom 1	Kod	Poziom 3	Symbol	R,G,B	Kod	Poziom 4
1	Powierzchnie sztuczne	1.3.2	Zwałowiska		166,77,0	1.3.2.1	Zwałowiska odpadów stałych
					166,77,0	1.3.2.2	Zwałowiska odpadów płynnych – osadniki
					166,77,0	1.3.2.3	Hałdy kopalniane
					166,77,0	1.3.2.4	Wysypiska komunalne
					166,77,0	1.3.2.5	Zwałowiska i wysypiska rekultywowane i zarastające
		1.3.3	Place budowy		255,77,255	1.3.3.1	Budynki w trakcie budowy
					255,77,255	1.3.3.2	Wykopy i roboty ziemne
		1.4.1	Zieleńce miejskie		255,166,255	1.4.1.1	Parki
					255,166,255	1.4.1.2	Zieleńce, skwery, trawniki
					255,166,255	1.4.1.3	Ogrody działkowe
					255,166,255	1.4.1.4	Cmentarze
					255,166,255	1.4.1.5	Obszary nieużytkowane gospodarczo
		1.4.2	Urządzenia sportowe i rekreacyjne		255,230,255	1.4.2.1	Obszary sportowe
					255,230,255	1.4.2.2	Zespoły basenów
					255,230,255	1.4.2.3	Tereny wypoczynkowo-kempingowe
2	Obszary rolnicze	2.1.1	Grunty orne		255,255,166	2.1.1.1	Uprawy zbożowe
					255,255,166	2.1.1.2	Uprawy roślin strączkowych
					255,255,166	2.1.1.3	Uprawy roślin oleistych
					255,255,166	2.1.1.4	Uprawy roślin okopowych
					255,255,166	2.1.1.5	Uprawy roślin włóknistych
					255,255,166	2.1.1.6	Uprawy warzyw
					255,255,166	2.1.1.7	Uprawy kwiatów
					255,255,166	2.1.1.8	Uprawy szklarniowe
					255,255,166	2.1.1.9	Ugory i odłogi

Kod	Poziom 1	Kod	Poziom 3	Symbol	R,G,B	Kod	Poziom 4
2	Obszary rolnicze	2.1.2	Obszary stale nawadniane		255,255,0	2.1.2.1	Grunty orne nawadniane kanałem
					255,255,0	2.1.2.2	Grunty nawadniane systemami naziemnymi
		2.1.3	Pola ryżowe		230,127,127	2.1.3.1	Ryżowiska zalewowe
					230,127,127	2.1.3.2	Ryżowiska górskie
		2.2.1	Winnice		215,100,0	2.2.1.1	Winnice przydomowe
					215,100,0	2.2.1.2	Plantacje winnic
		2.2.2	Ogrody		242,166,0	2.2.2.1	Sady przydomowe
					242,166,0	2.2.2.2	Plantacje
		2.2.3	Gaje oliwkowe		228,160,0	2.2.3.1	Gaje oliwkowe przydomowe
					228,160,0	2.2.3.2	Plantacje gajów oliwkowych
		2.3.1	Pastwiska		240,240,75	2.3.1.1	Pastwiska trwałe
					240,240,75	2.3.1.2	Pastwiska okresowe
		2.4.1	Uprawy jednoroczne stowarzyszone z uprawami trwałymi		255,230,166	2.4.1.1	Grunty orne występujące z uprawami trwałymi
					255,230,166	2.4.1.2	Pastwiska występujące z uprawami trwałymi
		2.4.2	Uprawy wielozmianowe		255,230,77	2.4.2.1	Złożone systemy upraw i działek z przewagą upraw trwałych
					255,230,77	2.4.2.2	Złożone systemy upraw i działek z przewagą upraw jednorocznych
		2.4.3	Obszary głównie rolnicze z zaroślami i zadrzewieniami śródpolnymi		230,204,77	2.4.3.1	Nieregularne zarośla i zadrzewienia śródpolne
					230,204,77	2.4.3.2	Pasy zadrzewień śródpolnych

Kod	Poziom 1	Kod	Poziom 3	Symbol	R,G,B	Kod	Poziom 4
2	Obszary rolnicze	2.4.4	Obszary rolniczo-leśne		242,204,166	2.4.4.1	Grunty orne z udziałem zadrzewień i zakrzewień
					242,204,166	2.4.4.2	Pastwiska z udziałem zadrzewień i zakrzewień
3	Lasy i obszary półnaturalne	3.1.1	Lasy szerokolistne		128,255,0	3.1.1.1	Olsy
					128,255,0	3.1.1.2	Łęgi
					128,255,0	3.1.1.3	Grądy
					128,255,0	3.1.1.4	Buczyny
					128,255,0	3.1.1.5	Jaworzyny i lasy klonowo-lipowe
					128,255,0	3.1.1.6	Dąbrowy
					128,255,0	3.1.1.7	Lasy jodłowe
		3.1.2	Lasy iglaste		0,166,0	3.1.2.1	Bory sosnowe
					0,166,0	3.1.2.2	Bory świerkowe
		3.1.3	Lasy mieszane		77,230,0	3.1.3.1	Lasy mieszane z udziałem sosny
					77,230,0	3.1.3.2	Lasy mieszane z udziałem świerka
		3.2.1	Użytki zielone		204,230,77	3.2.1.1	Łąki suche
					204,230,77	3.2.1.2	Łąki świeże
					204,230,77	3.2.1.3	Łąki podmokłe
		3.2.2	Wrzosowiska		166,255,128	3.2.2.1	Wrzosowiska
		3.2.3	Roślinność twardolistna		166,230,77	3.2.3.1	Makkia
					166,230,77	3.2.3.2	Garig
		3.2.4	Przejściowe tereny leśne, zakrzewienia		160,220,0	3.2.4.1	Kosodrzewina
					160,220,0	3.2.4.2	Szkółki leśne
					160,220,0	3.2.4.3	Zalesienia i samosiewy
					160,220,0	3.2.4.4	Wylesienia i zręby
					160,220,0	3.2.4.5	Las zdegradowany i ginący

Kod	Poziom 1	Kod	Poziom 3	Symbol	R,G,B	Kod	Poziom 4
3	Lasy i obszary półnaturalne	3.3.1	Plaże, wydmy, piaski		230,230,230	3.3.1.1	Plaże
					230,230,230	3.3.1.2	Wydmy
					230,230,230	3.3.1.3	Ławice rzeczne i śródrzeczne
					230,230,230	3.3.1.4	Piaski poza strefą brzegową morza
		3.3.2	Nagie skały		204,204,204	3.3.2.1	Skały
					204,204,204	3.3.2.2	Rumosz skalny
		3.3.3	Obszary roślinności przerzedzonej		204,255,204	3.3.3.1	Roślinność przerzedzona na podłożu piaszczystym
					204,255,204	3.3.3.2	Roślinność przerzedzona na rumoszu skalnym
		3.3.4	Obszary wypalone		0,0,0	3.3.4.1	Pogorzeliska
		3.3.5	Lodowce i wieloletnie pola śnieżne		166,230,204	3.3.5.1	Lodowce
					166,230,204	3.3.5.2	Lodowczyki
					166,230,204	3.3.5.3	Pokrywy śniegu wieloletniego
4	Mokradła	4.1.1	Bagna śródlądowe		166,166,255	4.1.1.1	Bagna
					166,166,255	4.1.1.2	Mokradła okresowe
		4.1.2	Torfowiska		77,77,255	4.1.2.1	Torfowiska wysokie
					77,77,255	4.1.2.2	Torfowiska niskie
					77,77,255	4.1.2.3	Torfowiska przejściowe
		4.2.1	Bagna słone		204,204,255	4.2.1.1	Bagna słone z udziałem roślinności
					204,204,255	4.2.1.2	Bagna słone bez udziału roślinności
		4.2.2	Saliny		230,230,255	4.2.2.1	Saliny eksploatowane
					230,230,255	4.2.2.2	Saliny nieeksploatowane
		4.2.3	Równiny pływowe		166,166,230	4.2.3.1	Równiny pływowe

Kod	Poziom 1	Kod	Poziom 3	Symbol	R,G,B	Kod	Poziom 4
5	Obiekty wodne	5.1.1	Cieki i kanały wodne		0,215,210	5.1.1.1	Rzeki
					0,215,210	5.1.1.2	Strumienie
					0,215,210	5.1.1.3	Potoki
					0,215,210	5.1.1.4	Kanały
		5.1.2	Zbiorniki wodne		128,242,230	5.1.2.1	Naturalne zbiorniki wodne
					128,242,230	5.1.2.2	Sztuczne zbiorniki wodne
		5.2.1	Jeziora nadbrzeżne		0,255,166	5.2.1.1	Jeziora lagunowe
					0,255,166	5.2.1.2	Jeziora mierzejowe
		5.2.2	Estuaria		190,255,235	5.2.2.1	Estuaria otwarte
					190,255,235	5.2.2.2	Estuaria przegrodzone
		5.2.3	Morze i ocean		230,242,255	5.2.3.1	Morza otwarte
					230,242,255	5.2.3.2	Morza śródlądowe
					230,242,255	5.2.3.3	Oceany

Stacje Bazowe, we własnym zakresie, opracowują nowe bądź aktualizują dotychczasowe mapy pokrycia terenu i użytkowania ziemi dla swoich zlewni badawczych. Podstawą opracowania map są materiały pozyskane z Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, zwłaszcza uaktualniana okresowo baza CORINE Land Cover i jeśli zachodzi potrzeba w terminie opracowania map można dane CLC zweryfikować bieżącą ortofotomapą z Państwowego Zasobu Geodezyjnego i Kartograficznego. Ponadto źródłem danych do tworzenia map mogą być: kartowania terenowe z użyciem GPS-u, stare mapy tematyczne, zdjęcia lotnicze i obrazy satelitarne. Rozdzielczość map winna zapewnić hybrydowe rozwiązanie dla 3. i 4. poziomu CLC. Utworzone mapy pokrycia terenu i użytkowania ziemi są punktem wyjścia do dalszych rejestracji aktualizacyjnych, retrodykcji, predykcji i symulacji. Porównanie map z różnych terminów rejestracyjnych umożliwia stwierdzenie różnic w pokryciu ziemi i/lub użytkowaniu ziemi. Pliki map aktualnych oraz różnicowych w formacie *.shp, a także pliki towarzyszące dla danych przestrzennych i nieprzestrzennych są przekazywane do Centralnej Bazy Danych ZMŚP.

7.1.2.1. Parametry pomiarowe

W ramach programu Zmiany pokrycia terenu i użytkowanie ziemi proponuje się obliczanie dwóch miar ilościowych tych zmian. Pierwsza z nich określa wielkość zmian (tab. 7.1.5), natomiast druga oblicza tempo zmian.

Tabela 7.1.5. Wielkość zmian w pokryciu terenu i użytkowaniu ziemi dla pojedynczego pola danego typu (kodu CLC) (Feranec i in. 2000)

Skala zmian	Rodzaj zmiany	% zmiany powierzchni
1	Pełna zmiana	76–100
2	Znacząca zmiana	25–75
3	Niewielka zmiana	1–24
4	Brak zmian	0

Tempo zmian w pokryciu terenu i użytkowaniu ziemi (Velazquez i in. 2002) obliczane jest według wzoru:

$$dn = ((S2/S1)1/n - 1)*100$$

dn – tempo zmian wyrażone w %
S1 – powierzchnia typu w pierwszym okresie
S2 – powierzchnia typu w drugim okresie
n – liczba lat pomiędzy okresem pierwszym a drugim

7.1.2.2. Częstotliwość wykonywania analiz

1/rok – bieżące, w miarę możliwości uzupełnianie na mapach informacji o zmianach w pokryciu terenu i użytkowaniu ziemi na obszarze monitoringowym poprzez kartowanie terenowe, inwentaryzację z GPS, w notatkach itp. W czasie bieżącego kartowania należy stosować ujednoliconą dla wszystkich Stacji Bazowych klasyfikację pokrycia terenu i użytkowania ziemi na 4. poziomie hierarchicznym CLC. W wyjątkowych przypadkach braku odpowiednich danych źródłowych, po uzgodnieniu z właściwym ekspertem i akceptacji przez koordynatora merytorycznego ZMŚP oraz przedstawiciela GIOŚ można zastosować klasyfikację na 3. poziomie CLC.

1/5 lat lub 1/10 lat wykonanie pełnej aktualnej mapy pokrycia terenu i użytkowania ziemi oraz map różnicowych w zależności od możliwości organizacyjnych Stacji Bazowej.

Literatura

De Bie C.A., van Leeuwen J.A., Zuidema P.A., 1996. The Land Use Database: A Knowledge Based Software Program for Structured Storage and Retrieval of User-Defined Land Use Data Sets. User's Reference.

Feranec J., Šúri M., Ot'ahel' J., Cebecauer T., Kolář J., Soukup T., Zdeňková D., Waszmuth J., Vâjdea V., Vîjdea A., Nitica C., 2000. Inventory of major landscape changes in the Czech Republic, Hungary, Romania and Slovak Republic. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2: 129–139.

GIOŚ [Główny Inspektorat Ochrony Środowiska], 2020. CORINE Land Cover – CLC (https://clc.gios.gov.pl/).

Sims D., 1995. Background note on ongoing activities relating to land cover and land use classification. FAO/AGLS, Rome: 1–7.

Zwoliński Z., Gudowicz J., 2018. Zmienność przestrzenna typów pokrycia terenu i użytkowania ziemi w zlewniach rzecznych i jeziornych ZMŚP. W: A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemów Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, 32: 491–524.

7.2. Świadczenia geoekosystemów

Małgorzata Stępniewska

Zakład Geografii Kompleksowej, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

7.2.1. Wprowadzenie, cel analiz

Przedmiotem programu jest rozpoznanie i ocena świadczeń geoekosystemów w zlewniach badawczych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP). Lokalizacja Stacji Bazowych w różnych strefach krajobrazowo-ekologicznych i mezoregionach kraju pozwala zilustrować główne rysy zróżnicowania kapitału przyrodniczego oraz sposobów i intensywności jego wykorzystywania przez człowieka (Kostrzewski i in. 2014). Celami prowadzonych prac są:

- typologia ekosystemów na potrzeby rozpoznania i oceny ich świadczeń;
- ocena potencjału ekosystemów do dostarczania wybranych świadczeń;
- ocena wskaźnikowa świadczeń w oparciu o wyniki programu pomiarowego ZMŚP realizowanego przez Stacje Bazowe.

Częstotliwość wykonywania oceny świadczeń geoekosystemów dla poszczególnych zlewni badawczych ZMŚP to raz na 3 lata.

7.2.2. Metodyka

Typologia ekosystemów

Program analityczny korzysta z typologii ekosystemów lądowych i wodnych rekomendowanej przez Grupę Roboczą Unii Europejskiej ds. Rozpoznania i Oceny Ekosystemów i ich Usług (MAES – EU Working Group on Mapping and assessment of ecosystems and their services). Typologię prezentuje tabela 7.2.1. Na poziomie 1 wyróżniono trzy kategorie ekosystemów: lądowe, słodkowodne i morskie. Ekosystemy lądowe wyznaczono w nawiązaniu do CORINE Land Cover (CLC), dzieląc je (na poziomie 2) na tereny zurbanizowane, rolnicze, trawiaste, lasy, obszary zakrzewione i wrzosowiska, obszary rzadko porośnięte roślinnością i tereny podmokłe. Ekosystemy słodkowodne na poziomie 2 obejmują rzeki i jeziora, które są stałymi śródlądowymi wodami powierzchniowymi.

Przyjęcie typologii ekosystemów rekomendowanej przez Grupę Roboczą MAES zapewnia spójność uzyskanych wyników z uznanymi koncepcjami i kategoryzacjami oraz porównywalność z rezultatami analiz z innych krajów członkowskich Unii Europejskiej.

Tabela 7.2.1. Typologia ekosystemów lądowych i wód słodkich na potrzeby oceny świadczeń geoekosystemów

Główne kategorie ekosystemów	Typy ekosystemów	Odzwierciedlenie ekosystemów w pokryciu terenu i użytkowaniu ziemi (CLC Poziom 3)
Ekosystemy lądowe	tereny zurbanizowane	zabudowa zwarta; zabudowa luźna; tereny przemysłowe lub handlowe; tereny komunikacyjne i związane z komunikacją drogową i kolejową; miejsca eksploatacji odkrywkowej; zwałowiska i hałdy; budowy; tereny zieleni; tereny sportowe i wypoczynkowe
	tereny rolnicze	grunty orne; winnice; sady i plantacje; uprawy jednoroczne; złożone systemy upraw i działek; tereny zajęte głównie przez rolnictwo z dużym udziałem roślinności naturalnej; tereny rolno-leśne
	tereny trawiaste	łąki, pastwiska; murawy i pastwiska naturalne
	lasy	lasy liściaste; lasy iglaste; lasy mieszane; lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian
	obszary zakrzewione i wrzosowiska	wrzosowiska i zakrzaczenia; roślinność sucholubna
	obszary rzadko porośnięte roślinnością	plaże, wydmy, piaski; odsłonięte skały; roślinność rozproszona; pogorzeliska;
	tereny podmokłe	bagna śródlądowe; torfowiska
Ekosystemy słodkowodne	rzeki i jeziora	cieki; zbiorniki wodne

Źródło: MAES (2013).

Mapy typów ekosystemów w granicach zlewni badawczych są wykonane na podstawie map wektorowych typów pokrycia terenu i użytkowania ziemi, przekazywanych przez Stacje Bazowe. Dokładność geometryczna map odpowiada skali 1:10 000.

Klasyfikacja świadczeń geoekosystemów

Rozpatrywane świadczenia geoekosystemów są ujmowane w strukturę i nazewnictwo Wspólnej Międzynarodowej Klasyfikacji Usług Ekosystemowych (CICES 2018). CICES wersja 5.1 ma hierarchiczną strukturę z pięcioma poziomami: sekcja – dział – grupa – klasa – typ. Na najwyższym poziomie znajdują się trzy sekcje świadczeń zaopatrujących, regulacyjnych i kulturowych. Sekcje te podzielone są na dziesięć działów, dwadzieścia sześć grup i sześćdziesiąt siedem klas świadczeń. Podstawową strukturę CICES w zakresie świadczeń regulacyjnych przedstawia tabela 7.2.2.

Program analityczny obejmuje wybrane świadczenia geoekosystemów ujęte w klasyfikacji CICES. Selekcja świadczeń wynika z dwóch zasadniczych powodów. Program koncentruje się na świadczeniach regulacyjnych, w tym bowiem zakresie ZMŚP może stać się monitoringiem wypracowującym metodyczne i aplikacyjne

Tabela 7.2.2. Struktura Wspólnej Międzynarodowej Klasyfikacji Usług Ekosystemowych (Common International Classification of Ecosystem Services – CICES Version 5.1) w zakresie świadczeń regulacyjnych

Sekcja	Dział	Grupa
Świadczenia regulacyjne	Transformacja biochemicznych lub fizycznych czynników wprowadzanych do ekosystemów	Remediacja uciążliwości pochodzenia antropogenicznego
	Regulacja warunków fizycznych, chemicznych i biologicznych	Regulacja przepływów bazowych i zdarzeń ekstremalnych
		Utrzymanie cykli życia, ochrona siedlisk oraz puli genowej
		Zwalczanie szkodników i chorób
		Regulacja jakości gleby
		Stan wód
		Skład atmosfery i warunki atmosferyczne
	Inne typy świadczeń regulacyjnych	Inne

Źródło: opracowane na podstawie CICES (2018).

zasady rozpoznania i oceny świadczeń geoekosystemów. Ponadto klasyfikacja CICES uwzględnia korzyści z występowania i metabolizmu ekosystemów w różnych strefach klimatycznych i obszarach kulturowych świata. Wykracza przez to poza zestaw świadczeń występujących w naszej części Europy.

Ocena potencjału do dostarczania świadczeń geoekosystemów

Potencjał do dostarczania świadczeń geoekosystemów definiowany jest jako hipotetyczny maksymalny poziom wybranych świadczeń dostarczanych przez rozpatrywany geoekosystem (Potschin, Burkhard 2015). Procedura oceny potencjału w ramach programu analitycznego polega na ocenie zdolności zlewni badawczych ZMŚP do dostarczania każdego z analizowanych świadczeń. W analizie wykorzystywana jest matryca świadczeń geoekosystemów zawierająca wykaz klas pokrycia terenu i użytkowania ziemi oraz przypisane im świadczenia wraz z oceną ich poziomu (tab. 7.2.3). Badania opierają się na wartościach bonitacyjnych zaproponowanych przez Burkharda i in. (2014), akceptowanych przez Komisję Europejską (EC 2015) i Europejską Agencję Środowiska (EEA 2015) dla oceny świadczeń tzw. normalnego krajobrazu europejskiego. Zdolność geoekosystemów do dostarczania poszczególnych świadczeń oceniana jest na następujących poziomach:
0 – brak istotnego potencjału;
1 – niski potencjał;
2 – umiarkowanie niski potencjał;
3 – średni potencjał;
4 – wysoki potencjał;
5 – bardzo wysoki (maksymalny) potencjał.

Tabela 7.2.3. Matryca świadczeń geoekosystemów – potencjał świadczeń geoekosystemów w odniesieniu do klas pokrycia terenu i użytkowania ziemi występujących w zlewniach badawczych ZMŚP

CORINE LAND COVER POZIOM 3		ŚWIADCZENIA GEOEKOSYSTEMÓW								
		Kształtowanie klimatu w skali globalnej	Kształtowanie klimatu w skali lokalnej	Poprawa jakości powietrza	Poprawa jakości wody	Regulacja obiegu wody	Regulacja obiegu biogenów	Ochrona przed erozją	Zapylanie i rozprzestrzenianie nasion	Kontrola szkodników i przeciwdziałanie plagom
1.1.2	Zabudowa luźna	0	0	0	0	0	0	1	1	1
1.2.1	Tereny przemysłowe lub handlowe	0	0	0	0	0	0	2	0	1
1.2.2	Tereny komunikacyjne i związane z komunikacją drogową i kolejową	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1.3.1	Miejsca eksploatacji odkrywkowej	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.2	Zwałowiska i hałdy	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.3.3	Budowy	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.4.1	Tereny zieleni	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1.4.2	Tereny sportowe i wypoczynkowe	1	1	1	1	1	1	1	0	1
2.1.1	Grunty orne poza zasięgiem urządzeń nawadniających	1	2	1	0	2	1	0	1	2
2.2.2	Sady i plantacje	2	2	2	1	2	2	2	5	3
2.3.1	Łąki, pastwiska	2	1	0	0	1	1	1	0	2
2.4.2	Złożone systemy upraw i działek	1	2	1	0	1	1	1	2	3
2.4.3	Tereny zajęte głównie przez rolnictwo z dużym udziałem roślinności naturalnej	2	3	2	2	2	2	2	2	3
2.4.4	Tereny rolno-leśne	2	2	2	2	2	2	3	3	3
3.1.1	Lasy liściaste	5	5	5	5	3	5	5	4	4
3.1.2	Lasy iglaste	5	5	5	5	3	5	5	4	4
3.1.3	Lasy mieszane	5	5	5	5	3	5	5	4	5

CORINE LAND COVER POZIOM 3		ŚWIADCZENIA GEOEKOSYSTEMÓW								
		Kształtowanie klimatu w skali globalnej	Kształtowanie klimatu w skali lokalnej	Poprawa jakości powietrza	Poprawa jakości wody	Regulacja obiegu wody	Regulacja obiegu biogenów	Ochrona przed erozją	Zapylanie i rozprzestrzenianie nasion	Kontrola szkodników i przeciwdziałanie plagom
3.2.1	Murawy i pastwiska naturalne	5	2	0	3	1	4	5	1	1
3.2.2	Wrzosowiska i zakrzaczenia	3	4	0	3	2	3	2	2	2
3.2.4	Lasy i roślinność krzewiasta w stanie zmian	2	2	1	1	1	2	1	2	2
3.3.2	Odsłonięte skały	0	0	0	1	0	0	2	0	0
4.1.1	Bagna śródlądowe	2	2	0	2	3	4	1	1	2
4.1.2	Torfowiska	5	4	0	4	4	4	2	2	3
5.1.1	Cieki	0	1	0	3	3	3	0	0	3
5.1.2	Zbiorniki wodne	1	2	0	2	5	3	0	0	3

Źródło: opracowane na podstawie Burkhard i in. (2014).

W ramach programu analitycznego oceniany jest potencjał do dostarczania dwóch świadczeń zaopatrujących (w przypadku zlewni badawczych ZMŚP o rolniczym charakterze):

- produkcja żywności – produkty żywnościowe dla ludzi;
- produkcja paszy – pasza dla zwierząt;

oraz dziewięciu świadczeń regulacyjnych (dla wszystkich zlewni badawczych ZMŚP):

- kształtowanie klimatu w skali globalnej – trwałe unieruchamianie gazów cieplarnianych przez geoekosystemy;
- kształtowanie klimatu w skali lokalnej – oddziaływanie na elementy pogody i klimatu (wiatr, opady, temperaturę, wilgotność, radiację) przez komponenty geoekosystemów, zwłaszcza pokrycie terenu;
- poprawa jakości powietrza – przechwytywanie i filtrowanie zanieczyszczeń pyłowych i gazowych;

- poprawa jakości wody – oddziaływanie geoekosystemów na jakość wody, poprzez ograniczanie zanieczyszczeń i patogenów;
- regulacja obiegu wody – wpływ na składowe cyklu obiegu wody (np. retencja i regulacja odpływu, naturalny drenaż, stabilizacja poziomu wód i przeciwdziałanie suszom);
- regulacja obiegu biogenów – zdolność geoekosystemów do recyklingu azotu, fosforu i innych pierwiastków biogennych;
- ochrona przed erozją – retencja glebowa oraz zdolność do przeciwdziałania erozji gleb i powstawania osuwisk;
- zapylanie i rozprzestrzenianie nasion – przyczynianie się do reprodukcji roślin poprzez przenoszenie ich pyłków lub nasion;
- kontrola szkodników i przeciwdziałanie plagom – zdolność do zwalczania szkodników i chorób.

Efektem tego etapu analiz są mapy potencjału ekosystemów do dostarczania korzyści dla człowieka, prezentujące wyniki oceny bonitacyjnej przestrzennego zróżnicowania w poziomie świadczeń (w skali 1:10 000). Ponadto są określane zmiany potencjału do dostarczania świadczeń geoekosystemów w zlewniach badawczych ZMŚP w stosunku do poprzednio analizowanego okresu.

Program analityczny podkreśla, że matryca Burkharda i in. (2014) cechuje się dużym stopniem generalizacji, w rezultacie nie odzwierciedla wystarczająco specyfiki środowiska przyrodniczego Polski (Stępniewska 2018). Wkładem metodycznym ZMŚP w rozwój zasad oceny świadczeń geoekosystemów w Polsce może być wypracowanie matrycy uwzględniającej specyfikę kraju, w tym zróżnicowanie struktury i poziomu świadczeń w poszczególnych strefach ekologiczno-krajobrazowych. W Polsce do stref tych zaliczono: Bałtyk ze strefą brzegową, pojezierza, niziny, wyżyny, kotliny podgórskie, góry średnie i góry alpejskie (Mizgajski, Stępniewska 2012).

Wskaźniki świadczeń geoekosystemów

Na podstawie wyników programu pomiarowego ZMŚP realizowanego przez Stacje Bazowe wybrane świadczenia geoekosystemów są oceniane za pomocą zestawu wskaźników (tab. 7.2.4). Wyniki przedstawiane są w formie uśrednionych wartości rocznych.

Dla efektywnej realizacji programu analitycznego niezbędna jest interpretacja przez zespoły Stacji Bazowych wyników programu badawczo-pomiarowego ZMŚP w kontekście pożytków dostarczanych przez ekosystemy dla człowieka oraz warunkujących je procesów i struktur. Należy podkreślić, że procesy zachodzące w ekosystemach mogą dostarczać korzyści dla człowieka, ale nie są ich synonimami (Costanza 2012). I tak program ZMŚP obejmuje pomiar szeregu parametrów służących określeniu stanu ilościowego i jakościowego ekosystemów wodnych. Należą do nich właściwości fizykochemiczne wód, przepływy charakterystyczne w rzekach, stany wód podziemnych, wskaźniki zmian retencji w roku hydrologicznym. Wykorzystanie tych parametrów jako użytecznych wskaźników świadczeń z zakresu regulacji obiegu i jakości wody wymaga oceny ich wpływu na stopień zaspokajania potrzeb siedlisk wodnych i od wody zależnych. Sezonowy reżim wodny i jakość

wód określają możliwości świadczenia przez te siedliska różnych usług ekosystemowych, takich jak ochrona mateczników roślin i zwierząt, ochrona przed powodzią i suszą, zaopatrzenie w wodę. Ponadto raporty Stacji Bazowych powinny zawierać ocenę wpływu antropogenicznych i naturalnych źródeł zanieczyszczeń na chemizm zarówno opadów atmosferycznych, jak i odpływu ze zlewni. W przypadku chemizmu opadu podkoronowego oraz opadu organicznego należy wskazać, na jakie zbiorowiska leśne poza obszarem zlewni badawczej (w tym dla jakiej struktury gatunkowej i wiekowej lasów) jest możliwa ekstrapolacja uzyskanych wyników.

Tabela 7.2.4. Wskaźniki świadczeń geoekosystemów oparte na programie pomiarowym ZMŚP

Klasyfikacja CICES (wersja 5.1)	Wskaźniki świadczeń geoekosystemów
Remediacja uciążliwości pochodzenia antropogenicznego	Ładunki składników docierające do podłoża z opadem podkoronowym i spływem po pniach na tle ładunków wniesionych do podłoża z opadem atmosferycznym na terenie otwartym ($mg \cdot m^{-2}$): w programie obligatoryjnym: $S\text{-}SO_4$, $N\text{-}NO_3$, NO_3, $N\text{-}NH_4$, Cl, Na, K, Mg, Ca w programie rozszerzonym: P ogólny, Cd, Cu, Pb, Mn, Fe, Zn, Ni, As, Cr, Al
Regulacja jakości gleby	*Opad organiczny docierający do dna lasu* (g suchej masy$\cdot m^{-2}$) Ładunki składników docierają*cych do podłoża z opadem organicznym* (kg suchej masy$\cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$): w programie obligatoryjnym: całkowity C organiczny, N ogólny, P ogólny, K w programie rozszerzonym: S ogólna, Ca, Mg, Na, Mn, Fe, Zn, B, Cu, Mo, Pb, Cd
Stan wód	Ładunki substancji rozpuszczonych odprowadzane z odpływem rzecznym ($kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$): w programie obligatoryjnym: $S\text{-}SO_4$, $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$, P ogólny, Cl, Na, K, Mg, Ca w programie rozszerzonym: Al, Cd, Cu, Pb, Mn, Fe, Zn, Ni, As, Cr
Regulacja przepływów bazowych i zdarzeń ekstremalnych	*Odpływy ze zlewni na tle sum opadów atmosferycznych*: współczynnik odpływu (%), odpływ jednostkowy ($dm^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$)

Źródło: opracowanie własne na podstawie programu pomiarowego ZMŚP.

Literatura

Burkhard B., Kandziora M., Hou Y., Müller F., 2014. Ecosystem Service Potentials, Flows and Demands – Concepts for Spatial Localisation. Indication and Quantification. Landscape Online, 34: 1–32.

CICES, 2018. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure (www.cices.eu; dostęp: 1.09.2020).

Costanza R., 2012. Ecosystem functions and services. Ekonomia i Środowisko, 2(42): 9–17.
EC (European Commission), 2015. Science for Environment Policy: Ecosystem Services and the Environment. In-depth Report. European Commission – Science Communication Unit, Bristol.
EEA (European Environment Agency), 2015. Mapping and assessing the condition of Europe's ecosystems: progress and challenges. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
Kostrzewski A., Mizgajski A., Stępniewska M., Tylkowski J., 2014. The use of Integrated Environmental Programme for ecosystem services assessment. Ekonomia i Środowisko, 4(51): 94–101.
MAES 2013. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services – An analytical framework for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020. Technical Report No 2013-067. European Commission, Brussels.
Mizgajski A., Stępniewska M., 2012. Ecosystem services assessment for Poland – challenges and possible solutions. Ekonomia i Środowisko, 2(42): 54–73.
Potschin M., Burkhard B., 2015. Glossary for Ecosystem Service mapping and assessment terminology. Deliverable D1.4 EU Horizon 2020 ESMERALDA Project, Grant agreement No. 642007.
Stepniewska M., 2018. Potencjał metodyczno-aplikacyjny Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego dla rozwoju ocen usług geoekosystemów w Polsce. [W:] A. Kostrzewski, M. Majewski (red.), Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemów Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Poznań: 525–536.

7.3. Modelowanie zmian bilansu wodnego i biogeochemicznego dla zlewni reprezentatywnych ZMŚP

Witold Bochenek[1], Joanna Gudowicz[2]

[1] **Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN**
[2] **Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu**

7.3.1. Wprowadzenie i cel badań

Obieg wody w zlewni rzecznej wpływa na aktualny stan i rozwój środowiska przyrodniczego (Kostrzewski 2003). Zlewnia jest podstawową jednostką hydrologiczną, w której zachodzi cykl hydrologiczny, jego odnawianie i powtarzanie oraz przepływ energii i materii w dwóch kierunkach (w układzie pionowym i poziomym) (Gutry-Korycka, Soczyńska 1997). Odpływ wody ze zlewni rzecznej uzależniony jest od właściwości środowiska przyrodniczego, w tym przede wszystkim litologii utworów powierzchniowych, rzeźby terenu, przebiegu i natężenia opadów atmosferycznych, struktury pokrycia terenu i użytkowania ziemi oraz działalności człowieka (Gudowicz, Zwoliński 2017). Zlewnia rzeczna trak-

towana jako geoekosystem dynamiczny umożliwia zintegrowanie wszystkich procesów hydrologicznych i geomorfologicznych biorących udział w krążeniu wody (Soczyńska 1995). Każda zlewnia rzeczna charakteryzuje się wewnętrznym zróżnicowaniem komponentów tworzących środowisko przyrodnicze, wpływających na wielkość i intensywność zjawisk oraz procesów hydrologicznych i geomorfologicznych, które determinują w dużej mierze funkcjonowanie siedlisk organizmów. Wielkość odpływu wody (odpływ rzeczny, odpływ powierzchniowy) i substancji (ładunek biogenów, zawiesiny i in.) określana jest często w profilu zamykającym zlewnię. Stanowi zatem wypadkową procesów zachodzących w całej zlewni. Jednym ze sposobów poznania przestrzennego zróżnicowania procesów hydrochemicznych na obszarze zlewni jest modelowanie hydrologiczne. Modele hydrologiczne mogą także umożliwić analizę wpływu zmian klimatycznych oraz zmian pokrycia terenu i użytkowania ziemi na funkcjonowanie zlewni.

Do oceny czasowej zmienności odpływu wody i wybranych substancji chemicznych w zlewniach eksperymentalnych ZMŚP zostanie wykorzystany jeden z najczęściej stosowanych modeli hydrologicznych: Soil and Water Assessment Tool (SWAT) (Arnold i in. 1998). Model ten jest ciągle rozwijany, związany z 30-letnimi badaniami prowadzonymi przez Rolniczą Służbę Badawczą Ministerstwa Rolnictwa Stanów Zjednoczonych (Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, USDA-ARS) (Gassman i in. 2007). Model SWAT jest kontynuacją Simulator for Water Resources in Rural Basins (SWRRB) (Arnold, Williams 1987), który określa wpływ różnego rodzaju działań gospodarczych na elementy obiegu wody i transport osadów w niekontrolowanych zlewniach rolniczych na obszarze USA. W modelu SWAT zachowane zostały wszystkie cechy SWRRB, rozszerzając jego możliwości do wykonywania symulacji dla bardzo rozległych obszarów poprzez dołączenie modelu Routing Outputs To Outlet (ROTO) (Arnold i in. 1995). Późniejsze modyfikacje SWAT obejmowały włączenie elementów modelu QUAL2E związanych z procesami korytowymi (Brown, Barnwell 1987) oraz CFARM dotyczących obiegu węgla (Kemanian 2011).

SWAT w obecnej postaci zaklasyfikować można jako model oparty na podstawach fizycznych, deterministyczny, operujący w skali zlewni rzecznej dla dobowego kroku obliczeń. Jego efektywność obliczeniowa umożliwia wykonywanie symulacji dla długich okresów, sięgających setek lat. Ze względu na możliwości odzwierciedlenia charakterystyk przestrzennych zlewni, SWAT zaliczyć można do modeli o parametrach quasi-przestrzennie rozłożonych. Zlewnia rzeczna jest dzielona na wiele zlewni cząstkowych, które składają się z jednostek reakcji hydrologicznej, czy inaczej obszarów o takiej samej reakcji/odpowiedzi hydrologicznej (ang. *hydrologic response units,* HRU). Jednostki te są homogeniczne ze względu na pokrycie terenu i użytkowanie ziemi, charakterystyki glebowe oraz spadki terenu. Model SWAT jest powszechnie stosowany do symulacji hydrologicznych i hydrochemicznych na wielu obszarach testowych na kuli ziemskiej, a wyniki prowadzonych badań są zadowalające (Gassman i in. 2007, Douglas-Mankin i in. 2010, Arnold i in. 2012, Fu i in. 2019). Znajdują one odzwierciedlenie w licznych publikacjach naukowych, według SWAT Literature Database – 4028 publikacji (dostęp: 14.09.2020), co świadczy o jego dużej uniwersalności

i możliwości stosowania w zróżnicowanych geoekosystemach. Model SWAT używany był w zlewniach o różnej wielkości na obszarze Polski, głównie w części nizinnej: w dorzeczu Parsęty (Gudowicz 2015, 2016), Zgłowiączki (Brzozowski i in. 2011), Narwi (Piniewski, Okruszko 2011), Narwi i Baryczy (Marcinkowski i in. 2016) oraz Redy (Marcinkowski i in. 2013), przede wszystkim w celu porównania zmierzonych i symulowanych wysokości odpływu lub ładunków substancji biogennych wynoszonych ze zlewni w wybranych profilach pomiarowych oraz doboru właściwych parametrów kalibracji. Model został zastosowany na obszarze Karpat Zachodnich: do symulacji spłukiwania gleby w zlewni potoku Mątny na Podhalu (Halecki i in. 2018) oraz do symulacji składników obiegu wody w zlewni Bystrzanki (Bochenek 2020). W ramach projektów CRIS – Zintegrowana strategia zrównoważonego zarządzania wodami w zlewni (http://cris.ietu.katowice.pl/), PROLINE-CE (https://www.interreg-central.eu/Content.Node/PROLINE-CE.html) i WaterPUCK (https://waterpuck.pl/) model SWAT został wdrożony dla zlewni zbiorników zaporowych Goczałkowice i Kozłowa Góra, a także dla zlewni Zatoki Puckiej. Model SWAT posłużył też do przeprowadzenia analizy wpływu zmian klimatu na odpływ wody obejmującej zlewnię Wisły i Odry (Piniewski i in. 2018). Warto podkreślić, że Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, w ramach pracy pt.: „Identyfikacja presji w regionach wodnych i na obszarach dorzeczy. Część III: Opracowanie modelu obliczania ładunków zanieczyszczeń" zleciło przygotowanie „metodyki opracowania modelu" i jej pilotażowe wdrożenie, co zostało wykonane w oparciu o model SWAT w roku 2020.

Zastosowanie wymienionego modelu wynika z licznych zalet i możliwości jego użycia do obliczeń w zlewniach eksperymentalnych ZMŚP:

- możliwość modelowania natężenia procesów w różnych przedziałach czasowych: doba, miesiąc i rok;
- szerokie spektrum symulowanych parametrów;
- dostępność danych przestrzennych i czasowych, zbieranych przez stacje, wykorzystywanych w procesie symulacji;
- możliwość ingerencji i wprowadzenia zmian w bazie danych;
- łatwość obsługi interfejsu;
- możliwość wykonania symulacji prognostycznych uwzględniających zmiany klimatu, zmiany pokrycia terenu i użytkowania ziemi.

Wieloletnie pomiary meteorologiczne, hydrologiczne i hydrochemiczne pozwalają na prowadzenie symulacji wybranych składników odpływu wody i zanieczyszczeń na obszarze badanych zlewni, z uwzględnieniem podziału na poszczególne zlewnie cząstkowe lub jednostki jednorodne hydrologicznie (HRU). Przeprowadzenie analizy wrażliwości (Sensitive Analysis) umożliwia wybór najbardziej znaczących parametrów morfologicznych, glebowych i roślinnych, wpływających na kształtowanie odpływu wody i substancji ze zlewni, wykorzystywanych do kalibracji modelu. Na potrzeby kalibracji zalecane jest użycie programu SWAT-CUP. Program ten pozwala m.in. obliczyć parametry statystyczne opisujące najlepsze dopasowanie wyników obliczeń do wartości obserwowanych, które stanowią jedną z głównych informacji niezbędnych do oceny wyników kalibracji. Na

tej podstawie w dalszym etapie możliwe jest dokonywanie prognoz z uwzględnieniem scenariuszy klimatycznych.

Ograniczeniem w prowadzeniu symulacji w modelu SWAT w długim okresie są postępujące zmiany klimatyczne i wpływ człowieka na kształtowanie środowiska przyrodniczego. Zmiany klimatyczne mają charakter długookresowy, natomiast ingerencja człowieka może spowodować „skokową" zmianę w geoekosystemie, np. poprzez regulację cieków, budowę zbiorników retencyjnych, eksploatację surowców czy zmiany pokrycia terenu i użytkowania ziemi. Symulacje prowadzone w okresie kilkudziesięciu lat muszą uwzględniać zachodzące zmiany. W przypadku zmian „skokowych" symulacja może być prowadzona w okresach przed i po ich wystąpieniu. W przypadku pokrycia terenu i użytkowania ziemi zmiany następują wolniej i wskazane jest prowadzenie symulacji w kilkuletnich przedziałach czasowych, z uwzględnieniem aktualnych map pokrycia terenu i użytkowania ziemi.

Spośród licznych parametrów symulowanych przez model dla zlewni eksperymentalnych ZMŚP proponowane jest obliczenie następujących parametrów jako obligatoryjnych:

- FLOW_OUT – odpływ wody ze zlewni (z ostatniego odcinka sieci drenażu *reach*) [$m^3 \cdot s^{-1}$] – średnie miesięczne;
- NO3_OUT – odpływ azotu azotanowego ze zlewni (z ostatniego odcinka sieci drenażu *reach*) [kg N] – sumy roczne;
- MINP_OUT – odpływ fosforu we frakcji mineralnej ze zlewni (z ostatniego odcinka sieci drenażu *reach*) [kg P] – sumy roczne;
- ORGP_OUT – odpływ fosforu we frakcji organicznej ze zlewni (z ostatniego odcinka sieci drenażu *reach*) [kg P] – sumy roczne.

7.3.2. Metodyka

Oprogramowanie

Modelowanie z zastosowaniem SWAT jest możliwe z użyciem oprogramowania R, QGIS i ArcGIS. Wszystkie Stacje Bazowe posiadają oprogramowanie ArcGIS, dlatego jest ono preferowane do modelowania w zlewniach eksperymentalnych ZMŚP, a opisane procedury przygotowania danych i symulacji dotyczą tego oprogramowania. Stacje Bazowe mogą opcjonalnie stosować oprogramowanie QGIS (QSWAT lub SWAT+), dla którego procedury przygotowania danych są identyczne, jak w przypadku ArcSWAT.

Nakładki: ArcSWAT (dla ArcGIS) oraz QSWAT i SWAT+ (dla QGIS) należy pobrać ze strony: swat.tamu.edu.

Dane przestrzenne:

A. Cyfrowy model wysokości (DEM)

Wobec dostępności danych dla większości Stacji Bazowych powszechnie obowiązujący jest cyfrowy model wysokości, sporządzony na podstawie „chmury punktów" zobrazowania LiDAR, zapisany w formacie GeoTIFF. Do pobrania: geoportal.gov, zakładka: Do pobrania – Numeryczny Model Terenu.

B. Granica zlewni i sieć drenażu

Warstwy wektorowe (shp):

- granica zlewni (poligonowa) – wrysowana na podstawie przebiegu poziomic (materiały własne Stacji) lub z Mapy Podziału Hydrograficznego Polski (MPHP) w skali 1:10 000; alternatywnie zalecane jest także wyznaczenie granicy zlewni lub jej części na podstawie DEM, zwłaszcza w sytuacjach, gdy MPHP nie obejmuje granicy zlewni; wyznaczając granicę zlewni, należy wyeliminować obszary bezodpływowe, na których woda opadowa podlega ewapotranspiracji lub infiltruje do głębokiego podłoża, nie przynosząc skutku w formie odpływu w korycie na obszarze badanej zlewni;
- sieć drenażu (liniowa) – pozyskana z MPHP w skali 1:10 000 (rozwiązanie preferowane); dla małych zlewni eksperymentalnych ZMŚP sieć rzeczna może być niekompletna; w takiej sytuacji możliwe jest jej wygenerowanie na podstawie DEM, z użyciem oprogramowania GIS (ArcMap/ArcHydro, MapWindow lub QGIS), uzupełnione o rekonesans terenowy mający na celu weryfikację występowania i przebiegu cieku.

C. Pokrycie terenu i użytkowanie ziemi (LULC)

Proponowane jest wykorzystanie map LULC z dostępnych przekrojów czasowych, z podziałem okresu symulacji na przedziały czasu, dla których powyższa mapa będzie aktualna. W przypadku posiadania danych o zmianach pokrycia i użytkowania terenu zmiany te mogą być wprowadzane do modelu w sposób dynamiczny w ramach jednej, wieloletniej symulacji.

Jako źródło archiwalnych danych należy wykorzystać mapy pokrycia terenu i użytkowania ziemi opracowane w ramach programu ZMŚP. Obecnie znacznie dokładniejszym źródłem informacji jest Baza Danych Obiektów Topograficznych w skali 1:10 000 (BDOT10k). Dodatkowo należy dokonać reklasyfikacji form pokrycia terenu CLC i BDOT10k do klas „odczytywanych" przez SWAT.

D. Gleby

Optymalnym rozwiązaniem pozyskania danych do SWAT są szczegółowe, obszarowe i wieloparametryczne opracowania glebowe, sporządzone dla zlewni badawczych ZMŚP. W przypadku braku takich opracowań lub braku parametrów wymaganych przez bazę SWAT proponowane jest wykorzystanie danych z następujących baz:

- mapy glebowo-rolnicze – mapy wektorowe zawierające informację o grupach granulometrycznych gleby z podziałem na warstwy w profilu glebowym; mapy zawierają informację o miąższości poszczególnych poziomów gleby oraz całego profilu; dane udostępniane (odpłatnie) przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa (http://www.iung.pulawy.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=100&Itemid=18), a także (bezpłatnie) przez urzędy marszałkowskie;
- baza danych Polskiego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe opracowana na podstawie Instrukcji urządzania lasu (część II) – mapy wektorowe zawierające informację o grupach granulometrycznych gleby z podziałem na warstwy w profilu glebowym; mapy zawierają także informację o zawartości frakcji większej niż piasek;

- mapy udostępniane na wniosek przez Dyrekcję Generalną Lasów Państwowych;
- European Soil Database v. 2.0 (JRC-ESDAC) – warstwa wektorowa przedstawiająca zasięg poligonów glebowych na obszarze Europy i numer SMU (Soil Mapping Unit); do pobrania: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/european-soil-database-v20-vector-and-attribute-data;
- Harmonized World Soil Database v. 1.2 (HWSD) – baza danych glebowych, zawierająca niskorozdzielczy obraz rastrowy rozmieszczenia typów gleb na świecie, numery SMU i parametry glebowe wykorzystywane w SWAT; do pobrania: https://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/.

Połączenie informacji z wymienionych powyżej baz danych umożliwi przygotowanie mapy glebowej wraz z jej atrybutami.

E. Mapa spadków terenu (w %)

Sporządzona na podstawie DEM. Przedziały nachylenia stoków według naturalnego podziału Jenksa (5 klas) (Jenks 1967).

Wszystkie warstwy z danymi przestrzennymi zapisane są w jednolitym, wiernopowierzchniowym układzie współrzędnych UTM.

Dane i charakterystyki klimatyczne i glebowe

Oprócz wymienionych wyżej danych przestrzennych, do pracy z modelem wymagane są dobowe dane meteorologiczne, zestawione w formatach *.dbf lub *.txt (MS Excel) oraz charakterystyki klimatyczne i parametry glebowe zapisane w tabelach bazy SWAT2009.mdb (lub SWAT2012.mdb) (MS Access), pobieranej ze strony: swat.tamu.edu/software.

W tabeli *userwgn* wprowadzane są miesięczne charakterystyki tzw. „generatora pogody", sporządzone na podstawie danych dobowych z okresu wielolecia (25 lat lub dostępnych serii pomiarów na Stacji Bazowej). W przypadku krótkiej, kilkuletniej serii danych powyższe charakterystyki winny zostać obliczone na podstawie danych z najbliższej stacji meteorologicznej IMGW, o wystarczająco długiej serii pomiarowej. Optymalnym rozwiązaniem jest dopisanie rekordu z obliczonymi charakterystykami klimatycznymi do wymienionej tabeli.

Wszystkie parametry zawarte w bazie danych – a jest ich w sumie 14 – dla poszczególnych miesięcy są obligatoryjne. Są to w kolejności wierszy tabeli: *TMPMX, TMPMN, TMPSTDMX, TMPSTDMN, PCPMM, PCPSTD, PCPSKW, PR_W1, PR_W2, PCPD, RAINHHMX, SOLARAV, DEWPT, WNDAV*. Ich szczegółowe definicje podane są w instrukcji SWAT (Neitsch i in. 2011).

Poniżej zamieszczono opis poszczególnych parametrów:

1. *TMPMX* – średnia z maksymalnych temperatur dobowych,
2. *TMPMN* – średnia z minimalnych temperatur dobowych,
3. *TMPSTDMX* – odchylenie standardowe od średniej temperatury maksymalnej,
4. *TMPSTDMN* – odchylenie standardowe od średniej temperatury minimalnej,
5. *PCPMM* – średnia miesięczna suma opadów,
6. *PCPSTD* – odchylenie standardowe średniego opadu dobowego w miesiącu,
7. *PCPSKW* – skośność opadów dobowych w miesiącu,

8. *PR_W1* – prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z opadem po dniu bez opadu,
9. *PR_W2* – prawdopodobieństwo wystąpienia dnia z opadem po dniu z opadem,
10. *PCPD* – liczba dni z opadem w miesiącu,
11. *RAINHHMX* – maksymalna suma opadu w okresie 0,5 godz. w ciągu doby opadowej,
12. *SOLARAV* – średnie dobowe całkowite promieniowanie słoneczne,
13. *DEWPT* – średnia miesięczna z dobowych wartości temperatury punktu rosy,
14. *WNDAV* – średnia miesięczna z dobowych prędkości wiatru.

Wyżej wymienione parametry obliczane są na podstawie danych dobowych z wyjątkiem parametru *RAINHHMX*, który opisano poniżej. Parametry 5–10 mogą być obliczone z wykorzystaniem programu *pcpSTAT,* autorstwa Lierscha (2003a), który generuje wymienione charakterystyki na podstawie dobowych sum opadu. Parametr 13 może zostać obliczony za pomocą programu komputerowego *dew,* autorstwa Lierscha (2003b), wykorzystującego do obliczeń średnie dobowe wartości temperatury i wilgotności względnej powietrza.

Największym problemem przy przygotowywaniu danych wejściowych potrzebnych do działania stochastycznego symulatora pogody jest określenie wartości parametru *RAINHHMX*. Oznacza on, według definicji z instrukcji SWAT 2009 (Neitsch i in. 2011): „Maksymalny 0,5-godzinny opad w całym okresie badawczym, obliczony dla danego miesiąca (mm H_2O)". W symulacjach zjawisk hydrologicznych wykonywanych modelem SWAT ten parametr ma bardzo duże znaczenie. Na jego podstawie obliczana jest objętość spływu powierzchniowego, erozja i transport zarówno gleby, jak i składników nawozowych/zanieczyszczeń. Dlatego też zdecydowano się na jego oszacowanie w oparciu o dane pośrednie. W publikacji Bogdanowicz i Stachý (1998) zmienność przestrzenna maksymalnych opadów deszczu o zadanym czasie trwania i prawdopodobieństwie wystąpienia ograniczała się do wyróżnienia na terytorium Polski zaledwie 3 regionów. W pracy tej zostały podane odpowiednie współczynniki korekcyjne, uwzględniane w dalszych obliczeniach. Ostatnim etapem szacowania wartości parametru *RAINHHMX* dla kolejnych miesięcy roku było zastosowanie opisanych wyżej współczynników do przeliczenia wartości maksymalnych sum opadów 24-godzinnych.

Parametry glebowe (tabela *usersoil* w bazie danych projektu SWAT) uzyskujemy z wymienionych powyżej baz danych o glebach. Optymalnym rozwiązaniem jest dopisanie do tej tabeli rekordu z wartościami wymaganych parametrów. Obligatoryjne atrybuty obejmują parametry fizyczne poszczególnych poziomów glebowych:

1. *HYDGRP* – grupa hydrologiczna gleby,
2. *SOL_ZMX* – maksymalna głębokość ukorzenienia,
3. *SOL_Z* – głębokość profilu glebowego,
4. *SOL_BD* – gęstość objętościowa,
5. *SOL_AWC* – dostępna pojemność wodna,
6. *SOL_K* – nasycona przewodność hydrauliczna,
7. *SOL_CBN* – zawartość węgla organicznego,
8. *SOL_CLAY* – zawartość iłu,

9. *SOL_SILT* – zawartość pyłu,
10. *SOL_SAND* – zawartość piasku,
11. *SOL_ROCK* – zawartość części szkieletowych,
12. *SOL_ALB* – albedo gleby wilgotnej,
13. *USLE_K* – współczynnik erozyjności gleby.

W formacie *.dbf (ArcSWAT dla wersji ArcGIS 9.x) lub *.txt (ArcSWAT dla wersji ArcGIS 10.x, a także SWAT+ lub QSWAT) wprowadzane są dobowe dane meteorologiczne w postaci sum, średnich lub wartości absolutnych:

- maksymalna temperatura powietrza,
- minimalna temperatura powietrza,
- wilgotność względna powietrza,
- suma opadu,
- natężenie promieniowania słonecznego ($MJ \cdot m^{-2}$),
- prędkość wiatru.

Szczegółowy opis formatów danych i tabel przedstawiono w instrukcjach:

- https://swat.tamu.edu/media/19754/swat-io–2009.pdf (wersja ArcSWAT dla ArcGIS 9.x);
- https://swat.tamu.edu/docs/ (wersja ArcSWAT dla ArcGIS 10.x oraz SWAT+ lub QSWAT).

Implementacja danych do modelu odbywa się poprzez wybranie w pierwszej kolejności pliku wskazującego „lokalizację" stacji meteorologicznej, zawierającego nazwę stacji (tabela *userwgn* w bazie SWAT2009.mdb lub SWAT2012), jej współrzędne i wysokość. Następnie wybierane są pliki wskazujące „położenie" dobowych danych meteorologicznych, zawierające nazwy plików oraz współrzędne stanowisk pomiarowych. Każdy z wymienionych plików jest zapisany w formacie *.dbf lub *.txt.

Model SWAT umożliwia przeprowadzanie prognoz procesów hydrologicznych i hydrochemicznych. Niezbędne jest pozyskanie danych meteorologicznych w oparciu o scenariusze klimatyczne, ich zestawienie w formatach danych i obliczenie charakterystyk wieloletnich w wyżej wymieniony sposób. Scenariusz klimatyczny powinien być zdefiniowany przez eksperta programu A1 – Meteorologia.

Zasady wyznaczania sieci drenażu powierzchniowego na obszarze zlewni

Wielkość obszaru zlewni, w której prowadzone są symulacje, determinuje przestrzenną rozdzielczość danych rastrowych (np. DEM) oraz generalizację sieci drenażu (cieki). Dla bardzo dużych zlewni sieć drenażu „pobierana" jest z globalnych baz danych np. HydroSHEDS (Anand i in. 2018). W pracach przedstawiających symulacje z użyciem SWAT dla dużych zlewni na obszarze Polski wykorzystywana jest Mapa Podziału Hydrograficznego Polski (Piniewski, Okruszko 2011, Marcinkowski i in. 2016, Gudowicz, Zwoliński 2017). Dla zlewni eksperymentalnych ZMŚP preferowanym rozwiązaniem jest wykorzystanie wektorowych danych (cieki i ich zlewnie) z bazy MPHP 1:10 000. Jednakże dla tak małych zlewni rzecznych konieczne może być wyznaczenie szczegółowej sieci drenażu powierzchniowego z użyciem narzędzi GIS, uzupełnione przez rekonesans terenowy, pozwalający stwierdzić występowanie i rzeczywisty przebieg sieci drenażu. Niezwykle istotne

jest przyjęcie optymalnej powierzchni (liczba pikseli), na podstawie której działać będzie algorytm służący do delimitacji sieci rzecznej. Przyjęcie zbyt niskiej liczby pikseli skutkować będzie zawyżoną liczbą cieków i sumaryczną ich długością w porównaniu ze stanem faktycznym. Wygenerowana sieć drenażu musi odzwierciedlać przebieg cieków stałych na obszarze objętym symulacją. W modelowanej strukturze hydrograficznej zlewni należy uwzględnić lokalizację profilu zamykającego, w którym prowadzone są pomiary umożliwiające ocenę wielkości odpływu ze zlewni. W przypadku zlewni różnicowych należy uwzględnić także profil pomiarowy kontrolujący dopływ rzeczny na wejściu do zlewni.

Obliczanie współczynnika szorstkości dla obszaru zlewni i koryta rzecznego

Współczynnik szorstkości *n* Manninga jest uwzględniany przy obliczaniu prędkości przepływu i stanowi miarę oporu ruchu wody. Opór ten jest uzależniony od zwarcia i wysokości roślinności występującej na obszarze zlewni oraz od morfologii dna koryta cieku. Podczas przegotowywania symulacji należy przypisać uśrednioną wartość współczynnika *n* dla odcinków cieków (kolumna CH_N2 w tabeli RTE). W przypadku zlewni wartość współczynnika *n* jest zależna od klasy pokrycia terenu (kolumna OV_N w tabeli HRU). Obydwie tabele są edytowalne w bazie danych projektu (*.mdb). Wartości liczbowe dla różnych typów koryt rzecznych i form pokrycia terenu zostały opracowane przez Chowa (1959).

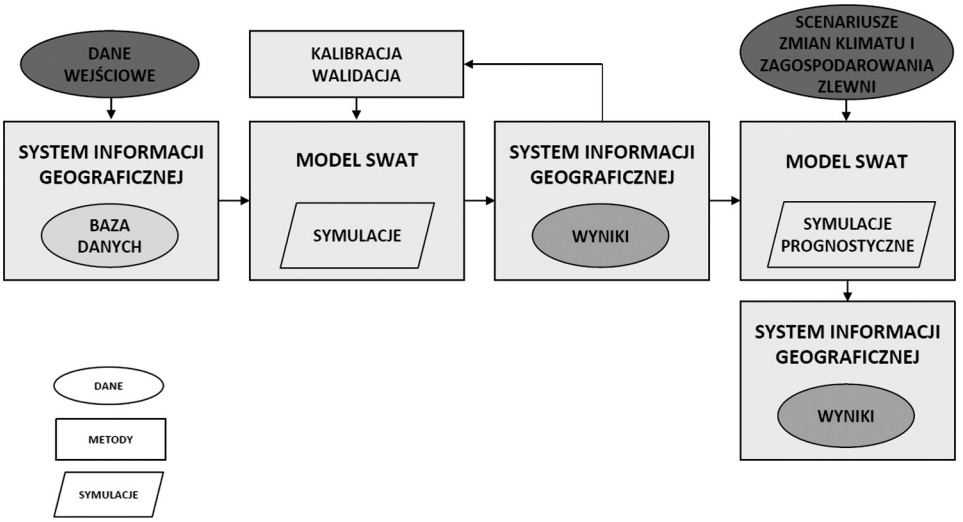
7.3.3. Przebieg procesu symulacji

Po dokonaniu uzupełnień i korekt w bazie danych SWAT (SWAT2009.mdb lub SWAT2012.mdb) można przystąpić do wykonywania symulacji. Schematycznie proces symulacji, kalibracji, walidacji i prognoz przedstawiono na rycinie 7.3.1.

Pierwszym jej etapem jest utworzenie nowego projektu i wskazanie lokalizacji bazy danych SWAT2009.mdb (lub SWAT2012.mdb), z której będą pobierane parametry w procesie symulacji. Następnie, po wskazaniu cyfrowego modelu wysokości (DEM), w sposób automatyczny lub z zastosowaniem wygenerowanej sieci drenażu (patrz wyżej), wyróżniane są odcinki cieków (*reach*) i towarzyszące im zlewnie cząstkowe (*subbasin*). W kolejnym etapie do założonego projektu załączane są mapy: pokrycia terenu i użytkowania ziemi i gleb oraz generowana na podstawie DEM mapa spadków terenu i progowych wartości nachyleń. W oparciu o kombinację tych trzech rodzajów danych wyznaczane są jednostki jednorodne hydrologicznie (HRU). Spośród metod proponowanych przez model używana jest opcja „Multiply HRUs", uwzględniająca wszystkie rodzaje załączonych danych przestrzennych. Wyznaczenie HRU można przeprowadzić bez- lub z uwzględnieniem wartości progowych. Przypisanie wartości progowej dla każdego rodzaju załączonych wcześniej danych spowoduje, że klasy zajmujące mniejszą powierzchnię są eliminowane i włączane do pozostałych klas tak, by sumarycznie dawały powierzchnię 100%. W zlewniach eksperymentalnych ZMŚP proponowane jest uwzględnienie pełnego układu, bez wprowadzania wartości progowych.

W kolejnym etapie przygotowywania symulacji załączane są pliki z danymi meteorologicznymi. Począwszy od pliku lokalizacji stacji meteorologicznej,

kolejno wprowadzane są pliki wskazujące „lokalizację" dobowych danych meteorologicznych: temperatury powietrza (maksymalnej i minimalnej), sumy opadu, wilgotności względnej powietrza, natężenia promieniowania słonecznego oraz prędkości wiatru.



Ryc. 7.3.1. Schemat procedury modelowania z zastosowaniem Soil & Water Assessment Tool

Na tym etapie zakończone zostało wprowadzanie danych i odbywa się zapisywanie danych w bazie danych projektu (*.mdb) w tabelach o następujących nazwach:

bsn – obszar zlewni
gw – wody podziemne
chm – charakterystyki chemiczne gleb
hru – jednorodne obszary hydrologiczne
lwq – jakość wody w zbiornikach wodnych
mgt – zarządzanie zlewnią
pcp – opady
pnd – stawy i obszary podmokłe
res – zbiorniki wodne
rte – koryto główne
sep – gospodarka ściekowa
sno – pokrywa śnieżna
sol – charakterystyki fizyczne gleb
swq – jakość wody w ciekach
tmp – temperatura
wgn – generator pogody
wus. – woda pobierana/odprowadzana ze zlewni
crop.dat – użytkowanie, uprawy
fert.dat – nawozy
file.cio – generalny plik wejściowy
pest.dat – pestycydy
urban.dat – obszary zurbanizowane

Istnieje możliwość edycji wymienionych tabel i zmian wartości parametrów.

Zestaw danych do rozpoczęcia symulacji jest kompletny. Po otwarciu panelu „Run SWAT" ustawiany jest czasowy przedział symulacji z uwzględnieniem okresu dostosowania modelu (ang. *warm-up period*), wyrażonego w latach (NYSKIP). Po dokonaniu kompletnych ustawień uruchamiana jest symulacja. Po zakończeniu wynik symulacji należy zapisać.

7.3.4. Kalibracja uzyskanych wyników i miary jej oceny

Uzyskane wyniki symulacji każdego parametru wykazują odchylenia od wartości pochodzących z bezpośrednich pomiarów. Niezbędne jest przeprowadzenie procesu kalibracji uzyskanych wyników. Kalibracja jest procesem wyznaczania wartości parametrów modelu na podstawie analizy danych rzeczywistych i metod optymalizacyjnych w celu osiągnięcia możliwie najlepszej zgodności między danymi rzeczywistymi i wygenerowanymi przez model. Analiza wrażliwości (*Sensitive Analysis*), przeprowadzana po symulacji, umożliwia wybór najważniejszych parametrów morfologicznych, glebowych i roślinnych, wpływających na wielkość symulowanych parametrów, na których zmiany model jest najbardziej czuły (Sorooshian, Gupta 1995).

Kalibracja wyników przeprowadzana jest w oprogramowaniu SWAT-CUP (do pobrania: swat.temu.edu/software/swat-cup). Spośród dostępnych metod optymalizacyjnych dla zlewni eksperymentalnych ZMŚP zalecany jest algorytm Sequential Uncertainty Fitting (SUFI2) (Abbaspour i in. 2004, 2007). Algorytm ten ma na celu znalezienie wartości parametrów, które wpływają na dane wyjściowe, jednocześnie wskazując możliwie najmniejsze pasmo niepewności symulacji, obliczane na poziomie 2,5% i 97,5% skumulowanego rozkładu zmiennej wyjściowej. Podstawy teoretyczne oraz sposób zestawienia danych do kalibracji przedstawiono w opracowaniu Abbaspour (2013; https://swat.tamu.edu/media/114860/usermanual_swatcup.pdf). Do kalibracji wyników symulacji wybieramy te parametry, które analiza wrażliwości wskazała jako najbardziej znaczące w kształtowaniu odpływu wody lub ładunków substancji. Dodatkowo, jeśli nie wskazała tego analiza wrażliwości, wybieramy stałą recesji zasilania cieków wodą gruntową *Alpha_BF*. W pierwszej iteracji należy wykonać minimum 500 symulacji. W kolejnych iteracjach zawężane są przedziały symulowanych parametrów, a miary oceny dopasowania wyników rzeczywistych (obserwowanych) i symulowanych (po kalibracji) są coraz lepsze.

Do oceny jakości dopasowania wyników po kalibracji z wynikami obserwowanymi używane są następujące miary:

a) współczynnik determinacji R^2, obliczany według formuły:

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n} (Y_i^m - Y_{śr}^m)(Y_i^s - Y_{śr}^s)\right]^2}{\sum_{i=1}^{n} (Y_i^m - Y_{śr}^m)^2 \cdot \sum_{i=1}^{n} (Y_i^s - Y_{śr}^s)^2}$$

Y_i^m – wartość pomiarowa,
Y_i^s – wartość symulowana,

Y_{sr}^{m} – średnia arytmetyczna z wartości pomiarowych,
Y_{sr}^{s} – średnia arytmetyczna z wartości symulowanych,
n – liczebność zbioru danych.

Kryterium oceny dopasowania wyników pomiarowych i symulowanych według R^2 (Sarma i in. 1973):
- model znakomity: $0{,}91 < R^2 \leq 1{,}00$,
- model bardzo dobry: $0{,}64 < R^2 \leq 0{,}91$,
- model dobry: $0{,}49 < R^2 \leq 0{,}64$,
- model zadowalający: $0{,}36 < R^2 \leq 0{,}49$,
- model niezadowalający: $0{,}00 < R^2 \leq 0{,}36$,

b) współczynnik efektywności modelu Nasha-Sutcliffa (NSE):

$$\mathrm{NSE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (Y_i^m - Y_i^s)^2}{\sum_{i=1}^{n} (Y_i^m - Y_{śr}^m)^2}$$

Wielkość współczynnika NSE klasyfikowana jest według następujących przedziałów (Singh i in. 2004):
- model bardzo dobry: $0{,}75 < \mathrm{NSE} \leq 1{,}00$,
- model dobry: $0{,}65 < \mathrm{NSE} \leq 0{,}75$,
- model zadowalający: $0{,}50 < \mathrm{NSE} \leq 0{,}65$,
- model niezadowalający: $\mathrm{NSE} \leq 0{,}50$,

c) współczynnik odchylenia procentowego (PBIAS):

$$\mathrm{PBIAS} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (Y_i^m - Y_i^s)}{\sum_{i=1}^{n} Y_i^m} \cdot 100\%$$

Współczynnik ten klasyfikowany jest do następujących przedziałów (Singh i in. 2004):
- model bardzo dobry: $\mathrm{PBIAS} < \pm 10$,
- model dobry: $\pm 10 \leq \mathrm{PBIAS} < \pm 15$,
- model zadowalający: $\pm 15 \leq \mathrm{PBIAS} < \pm 25$,
- model niezadowalający: $\mathrm{PBIAS} \geq \pm 25$.

Parametry zoptymalizowane na podstawie kalibracji posłużą do walidacji modelu, po wprowadzeniu ich wartości do bazy danych SWAT. Wyniki symulacji przeprowadzonej po dokonaniu zmian podlegają ocenie za pomocą przedstawionych powyżej miar. Dla potrzeb modelowania SWAT w ZMŚP przyjęto, że okres kalibracji obejmuje 2/3 wielolecia objętego symulacją, natomiast okres walidacji – 1/3 badanego okresu.

Praca z modelem SWAT ma na celu przeprowadzanie prognoz składników odpływu wody i substancji z badanych zlewni. Zoptymalizowane wartości parametrów z okresu kalibracji wprowadzane są do bazy danych SWAT2009.mdb (SWAT 2012.mdb) i testowane w okresie walidacji. Zgodność wyników bezpośrednich pomiarów i symulacji w okresie walidacji upoważnia do postawienia tezy o dużej

wiarygodności wyników prognoz, przy założeniu braku zmian danych przestrzennych między okresem kalibracji i prognozy.

7.3.5. Wytyczne do zestawienia w raportach

A. Tabelaryczne zestawienie danych „wejściowych"

PRZYKŁAD

Rodzaj danych	Źródło danych	Rozdzielczość przestrzenna lub czasowa	Aktualność lub zakres czasowy danych
Cyfrowy model wysokości	GUGiK	5 m	2013
.....	.....	.....	.....
Generator pogody	Dane stacji	1 m-c na podstawie danych dobowych	2001–2020
.....	.....	.....	.....
Temperatura powietrza	Dane stacji	1 doba (temp. maks. i temp. min.)	2005–2020
.....	.....	.....	.....

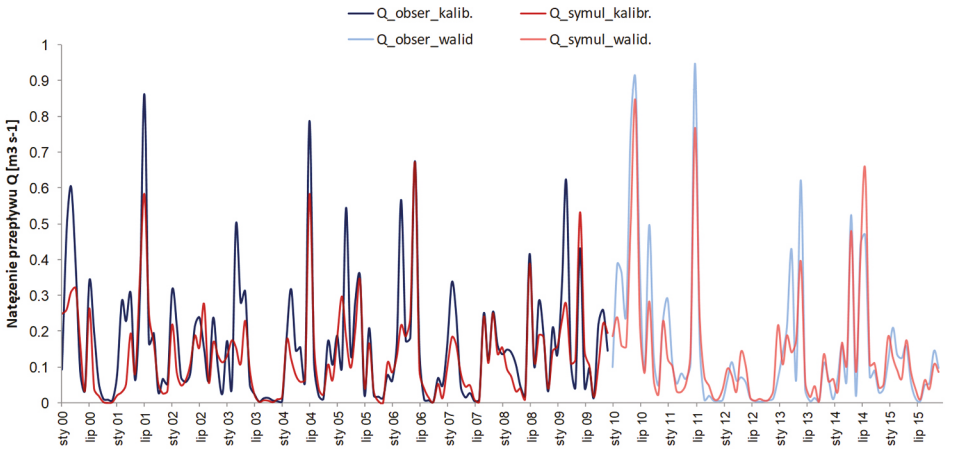
B. Tabelaryczne zestawienie nazw i optymalnych wartości parametrów kalibracji

PRZYKŁAD

Nazwa parametru	Optymalna wartość parametru lub przedział wartości, jeżeli parametr jest zmienny w przestrzeni
Canmx	16,45
CN2	0,081
ESCO	0,581
SOL_AWC	0,179–0,248
GWQmn	48,86
Revapmn	380,5
Alpha_BF	0,775

C. Przebieg obserwowanych i symulowanych (po kalibracji) miesięcznych sum odpływu ze zlewni (FLOW_OUT) z wyróżnieniem okresu kalibracji i walidacji – wykres liniowy

PRZYKŁAD



D. Ocena obserwowanych i symulowanych (po kalibracji) rocznych sum odpływu i ładunków w oparciu o kryteria: współczynnik determinacji R^2, współczynnik Nasha-Sutcliffa (NSE) i odchylenia procentowego (PBIAS) z podziałem na okres kalibracji i walidacji – zestawienie tabelaryczne:

Wyniki	Okres kalibracji			Okres walidacji		
	R^2	NSE	PBIAS	R^2	NSE	PBIAS
Odpływ						
Ładunek N-NO_3						
Ładunek $P_{og.}$						

E. Przebieg rocznych obserwowanych i symulowanych (po kalibracji) sum odpływu ze zlewni (FLOW_OUT), ładunków azotu azotanowego (NO3_OUT) i fosforu ogólnego (ORGP_OUT + MINP_OUT) – tabela:

Lata	Odpływ		Ładunek N-NO_3		Ładunek $P_{og.}$	
	wartość obserwowana	wartość symulowana	wartość obserwowana	wartość symulowana	wartość obserwowana	wartość symulowana
2005						
.....						
2020						
Średnia						
Min.						
Maks.						

F. Prognozowanie średnich rocznych sum odpływu ze zlewni (FLOW_OUT), ładunków azotu azotanowego (NO3_OUT) i fosforu ogólnego (ORGP_OUT + MINP_OUT) dla okresu prognozy w oparciu o rekomendowane scenariusze klimatyczne – tabela:

	Prognoza 2020 – .....
Odpływ (mm)	
Ładunek N-NO_3 (kg ha^{-1})	
Ładunek $P_{og.}$ (kg ha^{-1})	

G. Interpretacja danych w tabelach i na rycinach, ze wskazaniem przyczyn występowania wysokich lub niskich wartości badanych parametrów w ujęciu czasowym (np. wpływ sumy opadów, zmiany pokrycia terenu, wystąpienie punktowych źródeł zanieczyszczeń itp.).

Literatura

Abbaspour K.C., 2013. Swat-cup 2012. SWAT Calibration and uncertainty program – a user manual.

Abbaspour K.C., Johnson A., van Genuchten M.Th., 2004. Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. Vadose Zone Journal, 3(4): 1340–1352.

Abbaspour K.C., Vejdani M., Haghighat S., 2007. SWAT-CUP: Calibration and uncertainty programs for SWAT. W: L. Oxley, D. Kulasiri (red.), MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand: 1596–1602.

Anand J., Gosain A.K., Khosa R., Srinivasan R., 2018. Regional scale hydrologic modeling for prediction of water balance, analysis of trends in streamflow and variations in streamflow: The case study of the Ganga River basin. Journal of Hydrology: Regional Studies, 16: 32–53.

Arnold J.G., Moriasi D.N., Gassman P.W., Abbaspour K.C., White M.J., Srinivasan R., Santhi C., Harmel R.D., van Griensven A., van Liew M.W., Kannan N., Jha M.K., 2012. SWAT: Model use, calibration, and validation. Transactions of the ASABE, 55(4): 1491–1508.

Arnold J.G., Williams J.R., 1987. Validation of SWRRB: Simulator for water resources in rural basins. Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE, 113(2): 243–256.

Arnold J.G., Williams J.R., Maidment D.R., 1995. Continuous-time water and sediment--routing model for large basins. J. Hydraul. Eng. ASCE, 121(2): 171–183.

Bochenek W., 2020. Prawidłowości obiegu wody na obszarze beskidzko-pogórskim Karpat Zachodnich na przykładzie zlewni Bystrzanki w świetle zmian klimatu i działalności człowieka. Prace Geograficzne IGiPZ PAN, 271, Warszawa.

Bogdanowicz E., Stachý J., 1998. Maksymalne opady deszczu w Polsce. Charakterystyki projektowe. Materiały Badawcze IMGW, seria: Hydrologia i Oceanologia, 23.

Brown L.C., Barnwell T.O. Jr., 1987. The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and user manual. EPA/600/3-87/007. U.S. EPA, Environmental Research Laboratory, Athens, Ga.

Brzozowski J., Miatkowski Z., Śliwiński D., Smarzyńska K., Śmietanka M., 2011. Application of SWAT model to small agricultural catchment in Poland. J. Water Land Dev., 15: 157–166.

Chow V.T., 1959. Open channel flow. McGRAW-HILL, 11(95): 99–136.

Douglas-Mankin K.R., Srinivasan R., Arnold J.G., 2010. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model: Current developments and applications. Transactions of the ASABE, 53(5): 1423–1431.

Fu B., Merritt W.S., Croke B.F.W., Weber T.R., Jakeman J., 2019. A review of catchment-scale water quality and erosion models and a synthesis of future prospects. Environmental Modelling & Software, 114: 75–97.

Gassman P.W., Reyes M.R., Green C.H., Arnold J.G., 2007. The Soil and Water Assessment Tool: historical development, applications, and future research directions. Transactions of ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers), 50(4): 1211–1250.

Gudowicz J., 2015. Modelowanie transportu materiału zawieszonego w dorzeczu Parsęty z uwzględnieniem zróżnicowanych rozdzielczości danych przestrzennych. Landform Analysis, 30: 57–64.

Gudowicz J., 2016. Wpływ jakości danych przestrzennych na wyniki modelowania obiegu wody w dorzeczu Parsęty. Roczniki Geomatyki, 4(74): 437–446.

Gudowicz J., Zwoliński Z., 2017. Kształtowanie się odpływu rzecznego w dorzeczu Parsęty w świetle modelowania hydrologicznego. Przegląd Geograficzny, 89(1): 45–66.

Gutry-Korycka M., Soczyńska U., 1997. Cykl hydrologiczny zlewni. W: U. Soczyńska (red.), Hydrologia dynamiczna. PWN, Warszawa.

Halecki W., Kruk E., Ryczek M., 2018. Loss of topsoil and soil erosion by water in agricultural areas: A multi-criteria approach for various land use scenarios in the Western Carpathians using a SWAT model. Land Use Policy, 73: 363–372.

Jenks G.F., 1967. The Data Model Concept in Statistical Mapping. International Yearbook of Cartography, 7: 186–190.

Kemanian A.R., Julich S., Manoranjan V.S., Arnold J.G., 2011. Integrating soil carbon cycling with that of nitrogen and phosphorus in the watershed model SWAT: Theory and model testing. Ecol. Modelling, 222(12): 1913–1921.

Kostrzewski A., 2003. Obieg wody i jego wpływ na powstanie i funkcjonowanie struktur krajobrazowych. W: A. Kostrzewski (red.), Funkcjonowanie geoekosystemów zlewni rzecznych. Obieg wody – uwarunkowania i skutki w środowisku przyrodniczym. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 17–20.

Liersch S., 2003a. The Program pcpSTAT: user's Manual. Berlin, 5.

Liersch, S., 2003b. The Programs dew.exe and dew02.exe: user's Manual. Berlin, 5.

Marcinkowski P., Piniewski M., Kardel I., Giełczewski M., Okruszko T., 2013. Modelling of discharge, nitrate and phosphate loads from the Reda catchment to the Puck Lagoon using SWAT. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Land Reclamation, 45(2): 125–141.

Marcinkowski P., Piniewski M., Kardel I., Srinivasan R., Okruszko T., 2016. Challenges in modelling of water quantity and quality in two contrasting meso-scale catchments in Poland. Journal of Water and Land Development, 31(1): 97–111. DOI: 10.1515/jwld–2016-0040.

Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R., 2011. Soil and Water Assessment Tool theoretical documentation, version 2009. USDA-ARS Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Temple, Tex.

Piniewski M., Okruszko T., 2011. Multi-site calibration and validation of the hydrological component of SWAT in a large lowland catchment. W: Modelling of hydrological processes in the Narew catchment. Springer: 15–41.

Piniewski M., Szcześniak M., Huang S., Kundzewicz Z.W., 2018. Projections of runoff in the Vistula and the Odra river basins with the help of the SWAT model. Hydrology Research, 49(2): 303–317.

Sarma P.B.S., Delleur J.W., Rao A.R., 1973. Comparison of rainfall-runoff models for urban areas. Journal of Hydrology, 18(3–4): 329–347.

Soczyńska U., 1995. Modelowanie systemów naturalnych. Wydawnictwo WGiSR UW, Warszawa: 59.

Sorooshian S., Gupta V.K., 1995. Model Calibration. W: V.P. Singh (red.), Computer models of watershed hydrology. Water Resources Publications, Colorado, USA: 23–68.

8. Zapewnienie jakości danych

Anna Degórska, Ewa Żyfka-Zagrodzińska

Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie

8.1. Założenia ogólne

Jakość danych pomiarowych decyduje o jakości opracowań, które na ich podstawie powstają. W przypadku gdy dane są generowane przez wielu uczestników, wiele instytucji, jest szczególnie ważne, by system zapewnienia jakości pozwalał uzyskiwać porównywalne dane. Dane pomiarowe powinny być spójne w czasie, by umożliwiać dokonywanie oceny tendencji zmian badanych parametrów, oraz w przestrzeni, by móc porównywać różne geoekosystemy, reprezentowane przez Stacje Bazowe. Aby osiągnąć taką porównywalność, metody pobierania próbek i analiz chemicznych muszą być dokładnie udokumentowane, odpowiednio dobrane do charakteru matrycy oraz stężeń składników i powinien im towarzyszyć program zapewnienia jakości. Procedury zapewnienia i kontroli jakości powinny obejmować wszystkie części działań wykonywanych w terenie i w laboratorium.

Zapewnianie jakości (Quality Assurance – QA) jest zdefiniowane jako „te działania i procedury, które są podejmowane w celu zapewnienia danych pomiarowych o określonej jakości z określonym prawdopodobieństwem, że są prawidłowe". Kontrola jakości (Quality Control – QC) odnosi się do procedur laboratoryjnych stosowanych w celu ograniczenia błędów pomiarowych lub utrzymania ich w pewnych określonych granicach tolerancji (odzwierciedlonych w wielkości dopuszczalnej niepewności pomiaru).

W procesie kontroli i zapewnienia jakości są wykorzystywane próbki o znanych zawartościach badanych składników, w szczególności certyfikowane materiały referencyjne (Certified Reference Materials – CRM), służące do wzorcowania i sprawdzania wyposażenia pomiarowego, oraz próbki o nieznanych zawartościach badanych składników – próbki rozdzielone, ślepe, powtórzone. Oprócz CRM stosowanych do wzorcowania aparatury pomiarowej, wykorzystywane są matrycowe materiały odniesienia – materiały z matrycą możliwie jak najbliższą do badanego obiektu, o znanych zawartościach badanych składników. Stosowanie matrycowych materiałów odniesienia pozwala na wyeliminowanie wpływu matrycy na końcowe wyniki badań oraz potwierdza, że stosowana metoda jest właściwa do wybranego celu.

Końcową część procesu stanowi weryfikacja danych pomiarowych, czyli procedury przeprowadzane na danych pierwotnych, które umożliwiają identyfikację i usunięcie błędów powstających podczas zapisywania wyników oraz sprawdzenie

kompletności, dokładności i spójności danych. Po przeprowadzeniu weryfikacji danych surowych można je zatwierdzić. Procedury weryfikacji obejmują identyfikację punktów odstających i ich ocenę pod kątem możliwości akceptacji i włączenia do serii pomiarowej w oparciu o przypisane kryteria i poziomy ufności. Przydatne są metody wewnętrznej kontroli spójności oparte na korelacjach i zależnościach pomiędzy badanymi składnikami i parametrami – zarówno w ramach poszczególnych programów, jak i pomiędzy programami.

W programie Integrated Monitoring przyjęto następujące zasady:

1. W niektórych przypadkach zostały wyraźnie określone i zalecone metody pobierania próbek i pomiarów w terenie dla konkretnych parametrów, a dane uzyskane przy użyciu innych metod terenowych są nie do przyjęcia.
2. Laboratoria zajmujące się analizami chemicznymi próbek pochodzących ze Stacji Bazowej powinny działać zgodnie z normą odniesienia dla laboratoriów badawczych. Obecnie obowiązującą normą akredytacyjną dla laboratoriów badawczych jest PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 „Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących". Dane pochodzące z laboratoriów nieakredytowanych będą podlegały bardziej szczegółowej kontroli przed ich przyjęciem do bazy danych.
3. Jeżeli badania w laboratorium prowadzone są inną metodą analityczną od zalecanej, laboratorium jest zobowiązane wykazać poprzez pomiary równoległe, że metody te dają wartości zbliżone (±10%) do zalecanej metody.
4. Wszystkie parametry chemiczne powinny być przedmiotem badań biegłości/porównań międzylaboratoryjnych. Centrum zachęca również do udziału w międzynarodowych badaniach porównawczych.
5. Wszystkie laboratoria są zobowiązane do udziału w badaniach biegłości. Jeżeli wyniki dla danego parametru znajdują się poza dopuszczalnym przez organizatora badań biegłości odchyleniem, żadne dane związane z tym parametrem nie są umieszczane w bazie danych.
6. Każdy kierownik Stacji Bazowej powinien zapewnić przestrzeganie dobrej praktyki i ponosić odpowiedzialność za jakość uzyskiwanych wyników.
7. Wyniki kontroli jakości, porównań międzylaboratoryjnych i innych podjętych działań (w szczególności w odniesieniu do próbek uzyskiwanych w ramach Integrated Monitoring) powinny być raportowane do Centrum Programowego ICP Integrated Monitoring razem z danymi pomiarowymi.

8.2. Zapewnienie jakości pobierania próbek

Tradycyjnie najwięcej uwagi w programach zapewniania jakości poświęca się procedurom laboratoryjnym. W przypadku analizy próbek środowiskowych największe źródła błędów związane są z pobieraniem próbek w terenie, ich transportem do laboratorium oraz etapami przygotowania próbki. Ze względu na wagę tych etapów w końcowym wyniku powinny być objęte szczególnym nadzorem.

Materiały zbierane w programie ZMŚP obejmują próbki wody (opadów, opadów podkoronowych, spływów po pniach, roztworów glebowych, wód

podziemnych, wód płynących i wód jeziornych), próbki roślinne, organiczne i nieorganiczne materiały glebowe itp. Każdy z nich wymaga odrębnych metod, a w konsekwencji odrębnych protokołów zapewnienia jakości.

Wszystkie metody powinny być udokumentowane, a zmiany metod zachodzące w miarę upływu czasu powinny być odnotowane. W odniesieniu do wszystkich działań należy stosować odpowiednie procedury. Należy zapewnić niezbędne wyposażenie pomiarowe, wystarczające zaopatrzenie w części zamienne itp. Wszystkie osoby pobierające próbki i wykonujące pomiary powinny być dobrze wyszkolone, a stanowiska pomiarowe i wyposażenie powinny być kontrolowane. Procedury zapewniania jakości/kontroli jakości w terenie obejmują co najmniej przygotowywanie ślepych próbek i próbek kontrolnych, a także wymagania dotyczące transportu i przechowywania próbek. Narzędziem do kontroli poprawności prowadzonych działań może być audyt.

8.2.1. Pobieranie próbek wodnych i postępowanie z nimi

Zapobieganie zanieczyszczeniu lub zmianom w próbce podczas jej pobierania i przechowywania ma kluczowe znaczenie dla uzyskania poprawnych wyników pomiarów. Wszystkie pojemniki używane do pobierania lub przechowywania próbek muszą być wolne od istotnych ilości oznaczanych składników, a pojemniki muszą być wykonane z materiału, który nie będzie ani absorbował, ani uwalniał mierzalnych ilości badanych składników.

Wszystkie materiały, które mają kontakt z próbką, muszą być chemicznie obojętne. Najczęściej wykorzystywane są polietylen, polipropylen (ze względu na ich odpowiednie właściwości chemiczne). Muszą być też brane pod uwagę właściwości mechaniczne tych materiałów. Polietylen może stać się kruchy pod wpływem światła słonecznego, więc naczynia z niego wykonane, które są eksponowane na warunki atmosferyczne, powinny być regularnie wymieniane lub zabezpieczane przed bezpośrednim działaniem promieni słonecznych np. poprzez owinięcie folią aluminiową. Szkło borokrzemowe przed użyciem powinno być wymyte odpowiednim kwasem i wypłukane wodą dejonizowaną, przy czym generalnie nie zaleca się stosowania szkła. Z uwagi na właściwości zaleca się nie stosować naczyń szklanych, ale UWAGA: wyjątkiem są próbki przeznaczone do oznaczania tlenu rozpuszczonego i węgla. Miękkie szkło zanieczyszcza próbkę kationami metali alkalicznych i ziemi alkalicznej. Należy unikać metali i tworzyw sztucznych o nieznanym składzie lub właściwościach chemicznych.

Wszystkie butelki przed użyciem należy dokładnie wypłukać wodą dejonizowaną (czystości min. klasy II). Cały pozostały sprzęt do pobierania próbek musi być myty w rozcieńczonym kwasie dwa do trzech dni przed użyciem i przechowywany w plastikowych torebkach. Próbki przeznaczone do oznaczania śladowych ilości metali muszą być pobierane i przechowywane w butelkach przepłukanych kwasem. Należy zachować szczególną ostrożność, aby uniknąć zanieczyszczenia, a w miarę możliwości próbki wlewać do pojemników do pełna i szczelnie je zamykać, aby zminimalizować wymianę z uwięzionym pod korkiem powietrzem. Nowe szklane pojemniki powinny być na początku wypłukane w gorącym

roztworze kwasu chromowego. Późniejsze czyszczenie można wykonywać przy użyciu łagodnego detergentu, następnie płukać w wodzie z kranu, a na koniec w wodzie dejonizowanej.

Przyjmuje się, że im większa jest próbka, tym mniejsze są skutki zanieczyszczenia pochodzącego z naczynia do transportu/przechowywania. W przypadku próbek wody z jezior i rzek/cieków pobiera się zazwyczaj próbkę o objętości 1 dm^3. Wielkości próbek opadów atmosferycznych i wody glebowej zwykle są zmienne, zależne od wysokości opadu w danym okresie pomiarowym.

Próbki po pobraniu powinny być przechowywane w chłodnym i ciemnym miejscu, zalecana temperatura od 2°C do 8°C.

Wszystkie butelki laboratoryjne powinny być wyraźnie oznakowane (wraz z przykrywkami lub zakrętkami), w sposób trwały i nieulegający łatwemu zmazaniu. Identyfikacja próbki i dokumentacja dotycząca jej pobierania muszą być jednoznaczne dla każdej próbki. Dokumentacja ta stanowi integralną część informacji o próbce i powinna obejmować co najmniej:

- identyfikację miejsca pobrania próbki,
- datę pobrania próbki,
- głębokość pobierania próbek (dla tych próbek, dla których ma to zastosowanie),
- uwagi dodatkowe (np. dotyczące podejrzenia zanieczyszczenia),
- identyfikację osoby pobierającej próbkę,
- stosowane wyposażenie (jeżeli Stacja Bazowa posiada więcej niż jeden komplet przeznaczony do pobierania danego rodzaju próbek),
- warunki atmosferyczne panujące w czasie pobierania próbek (dla tych próbek, dla których ma to zastosowanie – dla próbek pojedynczych, a nie zbieranych w dłuższym okresie).

Jeśli próbki przed przekazaniem do laboratorium wykonującego analizy są przechowywane w Stacji Bazowej (w tym próbki tygodniowe opadów, które będą zlewane do próbek miesięcznych), to powinny być przechowywane w lodówce w temperaturze od 2°C do 8°C. Próbki w butelkach laboratoryjnych należy jak najszybciej dostarczyć (przewieźć/przesłać firmą kurierską) do laboratorium, najlepiej w obniżonej temperaturze w izolowanych pudłach lub chłodziarkach turystycznych z wkładami ziębiącymi. Zaleca się stosowanie butelki z wodą, przechowywanej wraz z próbkami w lodówce, przeznaczonej do kontroli temperatury transportu (pomiar temperatury w momencie pakowania próbek i po przyjeździe do laboratorium) bądź rejestratora warunków termicznych w czasie transportu.

Próbki wód powierzchniowych (cieki, jeziora) przeznaczone do analizy metali można przechowywać po dodaniu kwasu (zwykle kwasu azotowego HNO_3 65% suprapure, 1:1). Jeżeli środek konserwujący jest dodawany w terenie, należy zachować szczególną ostrożność, aby zapobiec zanieczyszczeniu próbek do oznaczania głównych jonów kwasem azotowym. W przypadku oznaczania frakcji rozpuszczonej, konieczne jest przefiltrowanie próbki przed konserwowaniem (filtry Whatman 42 lub GFC o średnicy porów 0,40–0,45 μm; przed użyciem powinny być przepłukane wodą dejonizowaną). Fakt filtrowania próbek powinien być uwzględniony przy kodowaniu wyników w bazie danych.

W celu kontrolowania ewentualnego zanieczyszczenia próbek w terenie (opadów atmosferycznych, opadów podkoronowych, spływów po pniach) co najmniej dwa razy w roku (docelowo raz na kwartał, a nawet raz w miesiącu wg wymagań ICP IM) należy wykonać ślepe próbki terenowe. W tym celu próbkę wody dejonizowanej w ilości 100–200 ml należy wlać do kolektora po jego umyciu/opłukaniu i ponownym zainstalowaniu na stanowisku pomiarowym. 2 razy w roku zalecane jest również przygotowywanie próbek rozdzielonych – pochodzących z tych samych kolektorów. Próbki powinny być poddawane tej samej procedurze co zwykłe próbki wody opadowej.

8.3. Zapewnienie jakości analiz chemicznych

W niektórych programach pomiarowych (np. Meteorologia, Gleby) procedury dotyczące kontroli i zapewnienia jakości danych są specyficzne i zostały opisane w rozdziałach poświęconych tym programom. Przedstawione w tym rozdziale procedury kontroli jakości są ogólne i można je stosować w celu zapewnienia jakości analiz chemicznych.

Laboratoria, które uczestniczą w programie Integrated Monitoring, a więc także w programie ZMŚP, powinny przedstawić dowody prowadzenia wewnątrzlaboratoryjnej kontroli jakości i potwierdzania ważności wyników (zgodnie z nomenklaturą stosowaną w normie PN-EN ISO/IEC 17025:2018–2, a wg wcześniejszych dokumentów odniesienia – sterowania jakością badań). Taka dokumentacja jest obowiązkowa dla akredytowanego laboratorium. Jeżeli wewnątrzlaboratoryjna kontrola jakości nie jest przeprowadzana jako normalna praktyka działania laboratorium, to porównywalność uzyskiwanych wyników może być wątpliwa.

Wewnątrzlaboratoryjna kontrola jakości powinna obejmować co najmniej:

1. Badania próbek o znanych parametrach (o ile to możliwe) – materiałów odniesienia, próbek kontrolnych: ślepych, rozdzielonych, równoległych, archiwalnych (karty kontrolne).
2. Sprawdzanie wyposażenia pomiarowego przed pomiarem i po pomiarze odpowiednim roztworem wzorcowym, monitorowanie warunków środowiskowych podczas wykonywania badań.
3. Przegląd uzyskanych wyników i ocenę spełnienia kryteriów dla bilansu jonowego lub testu przewodności dla poszczególnych próbek.

W programach, w których bierze udział wiele laboratoriów, bardzo istotnym narzędziem jest porównywanie wyników badań odpowiednich próbek (badania biegłości/porównania międzylaboratoryjne PT/ILC). Jest to działanie mające na celu identyfikację ewentualnych rozbieżności pomiędzy analizami przeprowadzanymi przez poszczególnych uczestników programu. Nie może ona zastępować rutynowej kontroli w laboratorium, która zapewnia jakość poprzez codzienne rutynowe działania kontrolne. Ma ona na celu zapewnienie, że nie występuje systematyczne odchylenie między wynikami pochodzącymi od różnych uczestników programu; mogłoby ono wynikać ze stosowania różnych metod, błędów w działaniach laboratoryjnych lub z niewystarczającej kontroli w laboratorium.

Zaleca się coroczny udział w badaniach porównawczych (najlepiej międzynarodowych) dla wszystkich analizowanych parametrów. Zaleca się też udział w porównaniach terenowych, które obejmują etap pobierania próbek.

Jakość pomiarów powinna być również oceniana przez bilans jonowy, ocenę stosunku stężenia jonów sodowych do chlorkowych (dla próbek opadów z otwartej przestrzeni i z lasu) oraz test przewodności, czyli porównanie obliczonej i zmierzonej przewodności próbek wodnych.

8.3.1. Bilans jonowy

Kontroli jakości danych dokonuje się, wykonując bilans jonów. Bilans jonów jest podstawowym testem poprawności wyników analiz chemicznych wód opadowych, roztworów glebowych oraz wód podziemnych i powierzchniowych. Opiera się on na zasadzie elektroobojętności wody, wymagającej, by suma anionów (wyrażona w μeq·dm^{-3}) była równa sumie kationów (wyrażonej w μeq·dm^{-3}). Bilans jonów wykonywany jest tylko dla próbek, dla których przeprowadzono analizy wszystkich anionów i kationów wykorzystywanych w obliczeniach. Bilans jonów sporządza się według poniższej formuły:

$$\text{Różnica jonów} = \frac{\Sigma \text{ kationów} - \Sigma \text{ anionów}}{\Sigma \text{ kationów} + \Sigma \text{ anionów}} \cdot 100\%$$

przy czym do obliczeń wykorzystuje się wartości stężeń kationów i anionów przeliczone na μeq·dm^{-3} według wzoru:

$$[C] = \frac{(C) \cdot 1000}{E_A} \mu\text{eq·dm}^{-3}$$

[C] – stężenie składnika [μeq·dm^{-3}],
(C) – stężenie składnika [mg·dm^{-3}],
E_A – współczynnik przeliczeniowy, którego wartości dla poszczególnych składników przedstawiono w tabeli 8.1

Tabela 8.1. Zestawienie współczynników przeliczeniowych E_A

Składnik	Współczynnik EA	Składnik	Współczynnik EA
$S\text{-}SO_4^{2-}$	16,0	Cl^-	35,5
$N\text{-}NH_4^+$	14,0	Ca^{2+}	20,0
$N\text{-}NO_3^-$	14,0	K^+	39,1
HCO_3^-	61,0	Al^{3+}	9,0
CO_3^{2-}	30,0	Fe^{3+}	18,6
Na^+	23,0	Mn^{2+}	27,5
Mg_2^+	12,2		

$$\Sigma \text{ kationów} = [H^+] + [N\text{-}NH_4^+] + [Na^+] + [Mg^{2+}] + [Ca^{2+}] + [K^+]$$

przy czym stężenie jonów wodorowych jest obliczane na podstawie wyników pomiarów pH według wzoru: $[H^+] = 10^{6-pH}$.

Dla opadu podkoronowego, spływu po pniach oraz roztworów glebowych, w których obecny jest rozpuszczony węgiel organiczny (DOC) do obliczenia bilansu jonowego należy uwzględnić stężenie jonów wodorowych obliczone na podstawie pH zmierzonego po przesączeniu próbki.

Dla kwaśnych roztworów glebowych ew. wód powierzchniowych po stronie sumy kationów należy uwzględnić stężenia kwaśnych metali (Al^{3+}, Fe^{3+} oraz Mn^{2+}).

$$\Sigma \text{ anionów} = [S\text{-}SO_4^{2-}] + [N\text{-}NO_3^-] + [Cl^-] + [HCO_3^-]$$

Biorąc pod uwagę równowagę pomiędzy dwutlenkiem węgla w powietrzu a kwasem węglowym w wodzie opadowej przyjmuje się, że przy pH opadów poniżej 5 stężenie dwuwęglanów jest zaniedbywane. Jony dwuwęglanowe dysocjują do węglanowych, ale ma to znikome znaczenie przy pH < 8. Przy czym dla próbek o pH > 5 stężenie jonów wodorowęglanowych obliczane jest na podstawie wyniku pomiaru pH według wzoru:

$$[HCO_3^-] = 5{,}1 / [H^+] = 5{,}1 / 10^{6-pH}\ [\mu eq \cdot dm^{-3}]$$

na podstawie Manual for the GAW Precipitation Chemistry 2004.

Ten sposób określenia stężeń wodorowęglanów można wyłącznie stosować w przypadku opadów atmosferycznych, dla których pH wskazuje na niewielkie właściwości zasadowe. Dla pozostałych próbek wody o odczynie obojętnym lub zasadowym, wysoko zmineralizowanych (roztwory glebowe, wody podziemne i powierzchniowe) należy wykonać odpowiednie analizy oznaczeń stężeń HCO_3^- i ewentualnie CO_3^{2-}.

Kryteria akceptacji dla bilansu jonowego są różne dla różnych próbek wodnych. Ilość anionów organicznych może być przybliżona na podstawie wyników pomiarów TOC/DOC. Obliczona przewodność może wskazać ewentualne wystąpienie zbyt małych lub zbyt dużych wyników pomiarów analitycznych jednego lub kilku parametrów.

Przyjmuje się, że jeśli kryteria bilansu jonowego nie są spełnione, to należy powtórzyć analizy lub oznakować wyniki właściwymi kodami jakości wyników. Zdarza się, że przyczyną niespełnienia podanych kryteriów jest zanieczyszczenie próbek w czasie pobierania, co powinno być odnotowane przez osoby pobierające próbki na Stacji Bazowej. Wówczas nie ma sensu powtarzanie analiz.

Kryteria dla bilansu jonowego zawarte w tabeli 8.2 należy stosować dla próbek słabo zmineralizowanych (opadów atmosferycznych, opadu podkoronowego, ew. spływu po pniach i roztworów glebowych).

W przypadku opadu podkoronowego i spływu po pniach oraz roztworów glebowych powstałe różnice między sumą anionów i kationów mogą być związane z nieuwzględnieniem rozpuszczonego węgla organicznego (po stronie anionów). Na obecność anionów organicznych w próbce wskazuje żółte (brunatne) zabarwienie wody. W takiej sytuacji uzyskana różnica jest wyłącznie wartością wskaźnikową. Informacja o niezgodności bilansu jonowego musi zostać uwzględniona

Tabela 8.2. Kryteria spełniania bilansu jonów
Global Atmosphere Watch (GAW)

Suma anionów i kationów [μeq·dm^{-3}]	Akceptowana różnica jonów [%]
≤ 50	≤ ± 60
> 50 ≤ 100	≤ ± 30
> 100 ≤ 500	≤ ± 15
> 500	≤ ± 10

European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP)

Suma anionów i kationów [μeq·dm^{-3}]	Akceptowana różnica jonów [%]
≤ 50	≤ ± 50
pozostałe przypadki*	≤ ± 15

*dla próbek o pH > 6,0 akceptuje się większą różnicę.

przy przekazywaniu danych do bazy danych poprzez zastosowanie odpowiednich flag jakości danych. W przypadku gdy uda się zidentyfikować wynik, który wpłynął na niedotrzymanie kryteriów bilansu jonowego, flagę należy przypisać tylko temu wynikowi. W innym przypadku należy użyć flagi dla wszystkich wyników uzyskanych dla danej próbki.

Dla wód wysoko zmineralizowanych (wody podziemne i powierzchniowe) należy stosować kryteria zawarte w tabeli 8.3.

Tabela 8.3. Dopuszczalny błąd analizy w zależności od sumy jonów (PN-89/C-04638/02)

Suma jonów [μeq·dm^{-3}]	Dopuszczalny błąd analizy [%]
Powyżej 15000	2
Od 5000 do 15000	2–5
Od 3000 do 5000	5–10

w przypadku mniejszej mineralizacji należy stosować kryteria w tabeli 8.2.

8.3.2. Stosunek stężenia jonów sodowych do chlorkowych

Test polegający na porównaniu stężeń jonów sodowych i chlorkowych (wyrażonych w μeq·dm^{-3}) należy stosować dla próbek opadów atmosferycznych, opadów podkoronowych i spływów po pniach. Przeliczenia stężeń należy wykonać, korzystając ze współczynników zamieszczonych w tabeli 8.1. Za wartości poprawne uznaje się te, które spełniają warunek:

$$0{,}5 < (\mathrm{Na}/\mathrm{Cl}) < 1{,}5$$

8.3.3. Test przewodności

Przewodność można obliczyć na podstawie stężeń molowych badanych składników i molowej przewodności jonowej według wzoru:

$$\kappa = \sum c_i \cdot \Lambda_i^o$$

czyli

$\kappa = 10^{(3-pH)} \cdot 349{,}7 + c[SO_4^{2-}] \cdot 160{,}0 + c[NO_3^-] \cdot 71{,}4 + c[Cl^-] \cdot 76{,}3 + c[NH_4^+] \cdot 73{,}5 + c[Na^+] \cdot 50{,}1 + c[K^+] \cdot 73{,}5 + c[Ca^{2+}] \cdot 119{,}0 + c[Mg^{2+}] \cdot 106{,}0 + c[F^-] \cdot 55{,}4 + c[NO_2^-] \cdot 71{,}8 + c[PO_4^{3-}] \cdot 207{,}0 + c[HCO_3^-] \cdot 44{,}5 + c[HCOO^-] \cdot 54{,}6 + c[CH_3COO^-] \cdot 40{,}9$

gdzie $c[HCO_3^-]$ w 25°C = 5,1/$c[H^+]$, a stężenia F^-, NO_2^-, PO_4^-, $HCOO^-$, CH_3COO^- są uwzględniane, jeśli ich wartości są znaczące.

Obliczoną wartość przewodności porównuje się z wartością zmierzoną zgodnie z poniższym wzorem:

$$\Delta\kappa(\%) = 100 \cdot [(\kappa - \kappa_{\text{zmierzone}})/\kappa_{\text{zmierzone}}]$$

W tabeli 8.4 przedstawiono dopuszczalne różnice w zależności od wartości przewodności (wg GAW).

Tabela 8.4. Dopuszczalna różnica przewodności dla wskazanych zakresów przewodności według GAW

Zmierzona przewodność [$\mu S \cdot cm^{-1}$]	Dopuszczalna różnica przewodności [%]
≤ 5	2
> 5 ≤ 30	2–5
> 30	5–10

Zapewnienie i kontrola jakości danych w programie ZMŚP obejmują następujące etapy, realizowane przez Stacje Bazowe, laboratoria wykonujące analizy próbek pobranych na stacjach, administratora Centralnej Bazy Danych i ekspertów ZMŚP:

Etap I – Stacja Bazowa – pobieranie próbek

- właściwe kolektory, odpowiednie naczynia, postępowanie z nimi, ocena próbek przy zlewaniu (w lesie),
- właściwy sposób postępowania – zgodny z procedurami i instrukcjami, szkolenia,
- szczególne warunki, zakłócenia, zanieczyszczenia, czy wszystkie kolektory funkcjonowały (wykorzystanie informacji pozyskanych podczas pobierania próbek i zawartych w dokumentacji pobierania próbek).

Etap II – Laboratorium – wykonanie analiz

- potwierdzanie ważności wyników (nadzór nad wyposażeniem, zapewnienie spójności, sprawdzanie/wzorcowanie, CRM, badania biegłości, porównania międzylaboratoryjne).

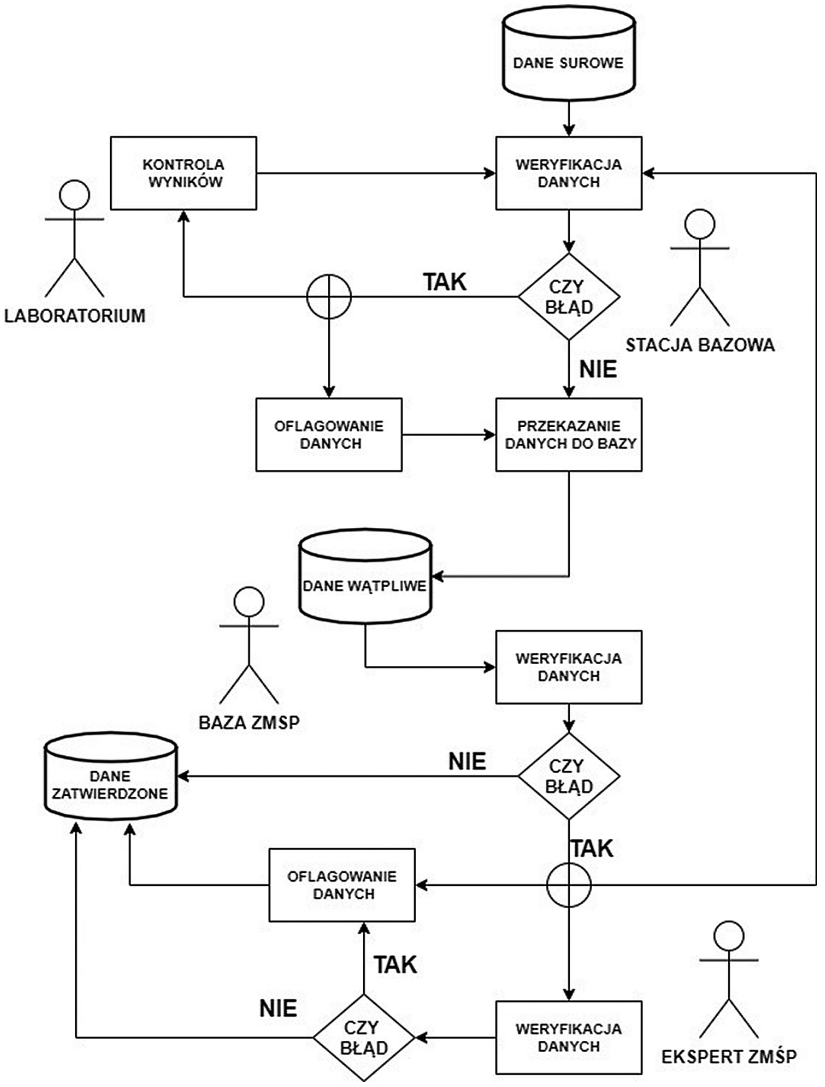
Etap III – Stacja Bazowa – opracowanie wyników

- kontrola danych – testy i flagowanie,
- przygotowanie wyników na potrzeby bazy danych.

Etap IV – Baza danych ZMŚP – kontrola formalna (zautomatyzowana)

Etap V – Baza danych ZMŚP – kontrola jakości

- testy,
- kontakty ze Stacjami Bazowymi,
- kontakty z ekspertami ZMŚP,
- flagi administratora,
- schemat obiegu informacji w tym procesie pokazano na rycinie 8.1.



Ryc. 8.1. Schemat prowadzenia kontroli jakości danych pomiarowych w programie ZMŚP. Autor R. Kruszyk

Zestawienie flag stosowanych w Centralnej Bazie Danych ZMŚP i opis sytuacji, w których powinny być użyte, przedstawiono w rozdziale 9.

Do opracowania corocznych raportów ZMŚP powinny być wykorzystywane dane w pełni zweryfikowane, zaakceptowane i uznane za ważne.

Literatura

EMEP Manual for sampling and chemical analysis EMEP/CCC-Report 1/95. Revised 2001 (https://projects.nilu.no/ccc/manual).

Manual for Integrated Monitoring, 1998. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air pollution Effects on Ecosystems. ICP IM Programme Centre Helsinki (www.syke.fi/nature/icpim).

Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest, 2016. International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air pollution Effects on Forest (http://icp-forests.net/page/icp-forests-manual).

Manual for The GAW Precipitation Chemistry Programme: Guidelines. Data Quality Objectives and Standard Operating Procedures, 160, 2004/2015 (https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9287).

PN-89/C-04638/02: „Woda i ścieki. Bilans jonowy wody. Sposób obliczania bilansu jonowego wody".

9. Zasady gromadzenia i przekazywania danych do Centralnej Bazy Danych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego

Robert Kruszyk

Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

9.1. Wstęp

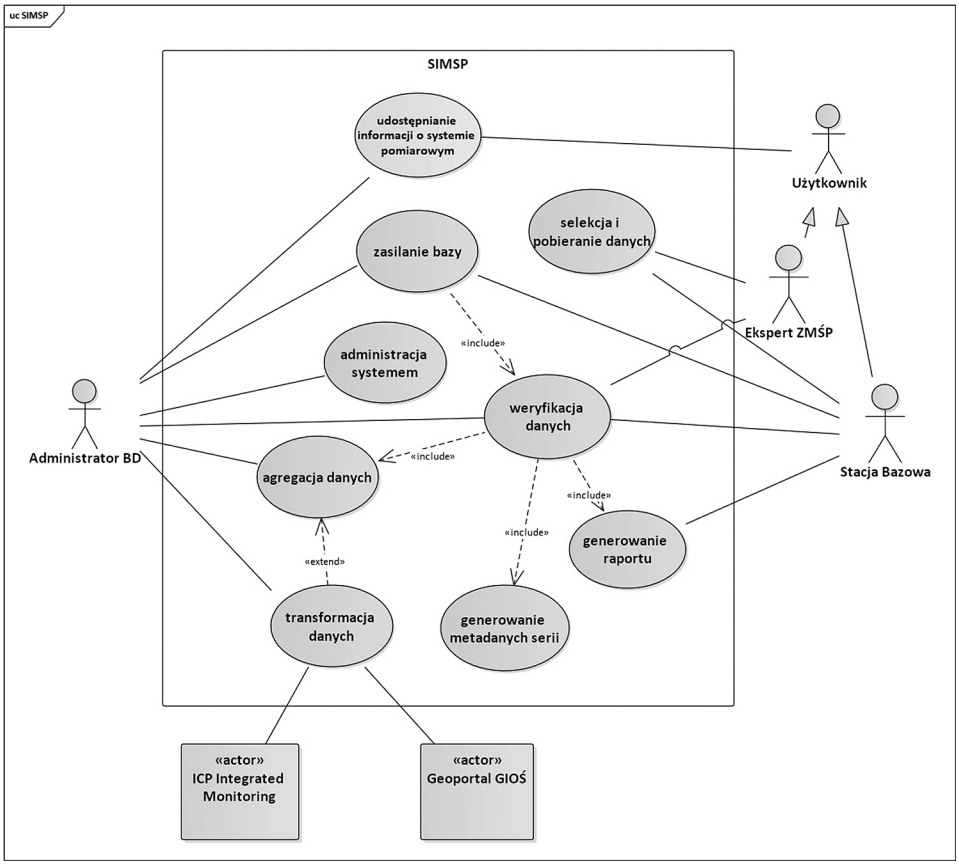
Efektem realizacji programu ZMŚP są duże wolumeny danych obejmujące zarówno wyniki pomiarów programów abiotycznych, jak i biotycznych. Podstawowym celem Systemu Informatycznego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (SIMSP) jest dostarczenie nowoczesnych i efektywnych narzędzi pozwalających na gromadzenie i przetwarzanie dużych zbiorów danych zbieranych na przestrzeni lat w ramach programu ZMŚP (Zwoliński 1993, Kostrzewski i in. 1995).

Do podstawowych funkcji systemu SIMSP należy zaliczyć (ryc. 9.1):

- uwierzytelnianie i autoryzację dostępu do bazy danych;
- zasilanie bazy danymi pomiarowymi;
- weryfikację danych w oparciu o dane słownikowe, dane referencyjne i statystyki;
- generowanie metadanych serii pomiarowych, agregację oraz przetwarzanie danych pomiarowych;
- przygotowanie i udostępnianie danych pomiarowych systemom zewnętrznym.

Użytkownikami systemu informatycznego (aktorzy) są: Stacja Bazowa realizująca program pomiarowy ZMŚP, GIOŚ – Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, będący dysponentem danych wytworzonych w ramach programu, ekspert ZMŚP sprawujący nadzór merytoryczny nad realizacją programu, administrator bazy danych odpowiedzialny za funkcjonowanie systemu oraz systemy zewnętrzne – program ICP Integrated Monitoring oraz Geoportal GIOŚ.

Dane pomiarowe oraz informacje o systemie pomiarowym i słowniki archiwizowane są w relacyjnej bazie danych pod kontrolą systemu PostgreSQL.



Ryc. 9.1. Funkcje systemu informatycznego SIMSP

9.2. Komunikacja z bazą danych

9.2.1. Konfiguracja połączenia z bazą danych

Dane pomiarowe corocznie wprowadzane są do bazy danych zdalnie przez Stacje Bazowe bezpośrednio z programu MS Excel. Taki sposób zasilania bazy umożliwia opracowany dodatek ZMSP (ang. *add-in*), którego kod został zaimplementowany w języku programowania VBA (Visual Basic for Applications) z wykorzystaniem biblioteki obiektów ADO (ActiveX Data Objects) przeznaczonej do komunikacji z bazą danych. Połączenie z bazą danych realizowane jest za pośrednictwem źródła danych ODBC. W celu załadowania i pobierania danych do/z bazy wymagany jest program MS Excel w wersji 2007 lub nowszej.

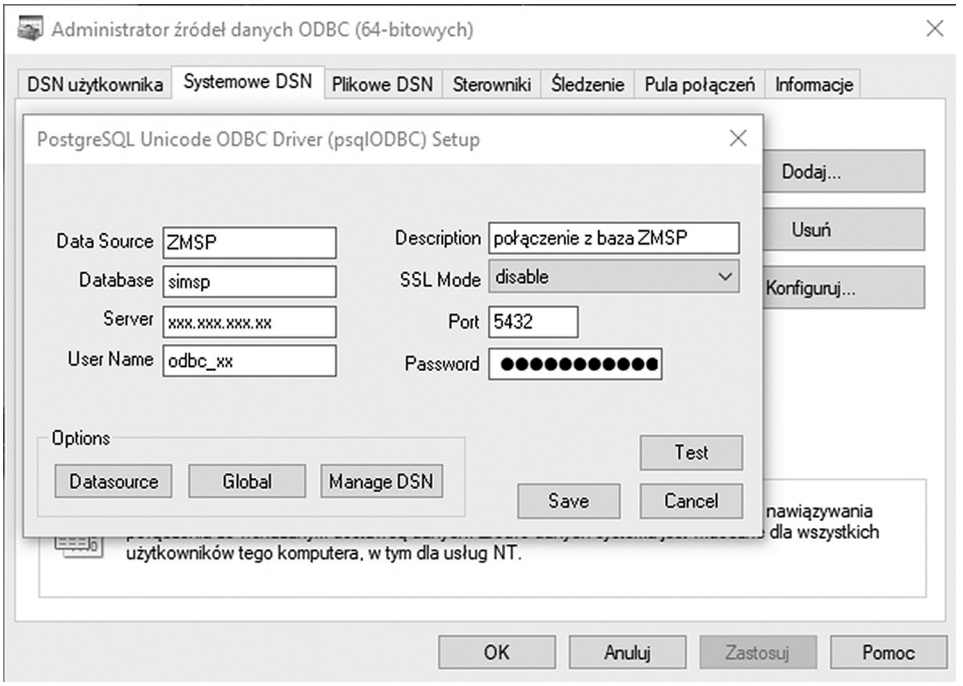
Konfiguracja połączenia z bazą danych wymaga zainstalowania sterownika ODBC, którego plik instalacyjny można pobrać ze strony: https://www.postgresql.org/ftp/odbc/versions/msi/ (dostęp: 2020–10–29). W zależności od wersji

programu MS Excel (wersja 32- lub 64-bitowa) należy pobrać odpowiedni plik instalacyjny. Architektura systemu operacyjnego nie jest istotna.

Po instalacji należy zdefiniować parametry połączenia (źródło ODBC). W przypadku wersji MS Excel 64-bitowej należy wybrać źródła danych ODBC 64-bitowe, dla wersji 32-bitowej źródła danych ODBC 32-bitowe. Na etapie konfiguracji dostępu do bazy należy podać (ryc. 9.2):

- nazwę źródła (*data source*) – ZMSP,
- nazwę bazy danych (*database*) – simsp,
- serwer (*server*) – IP serwera bazodanowego,
- nazwę użytkownika (*user name*) – nazwę użytkownika, z poziomu którego łączymy się z bazą danych,
- hasło (*password*) – hasło dostępowe zdefiniowane dla użytkownika.

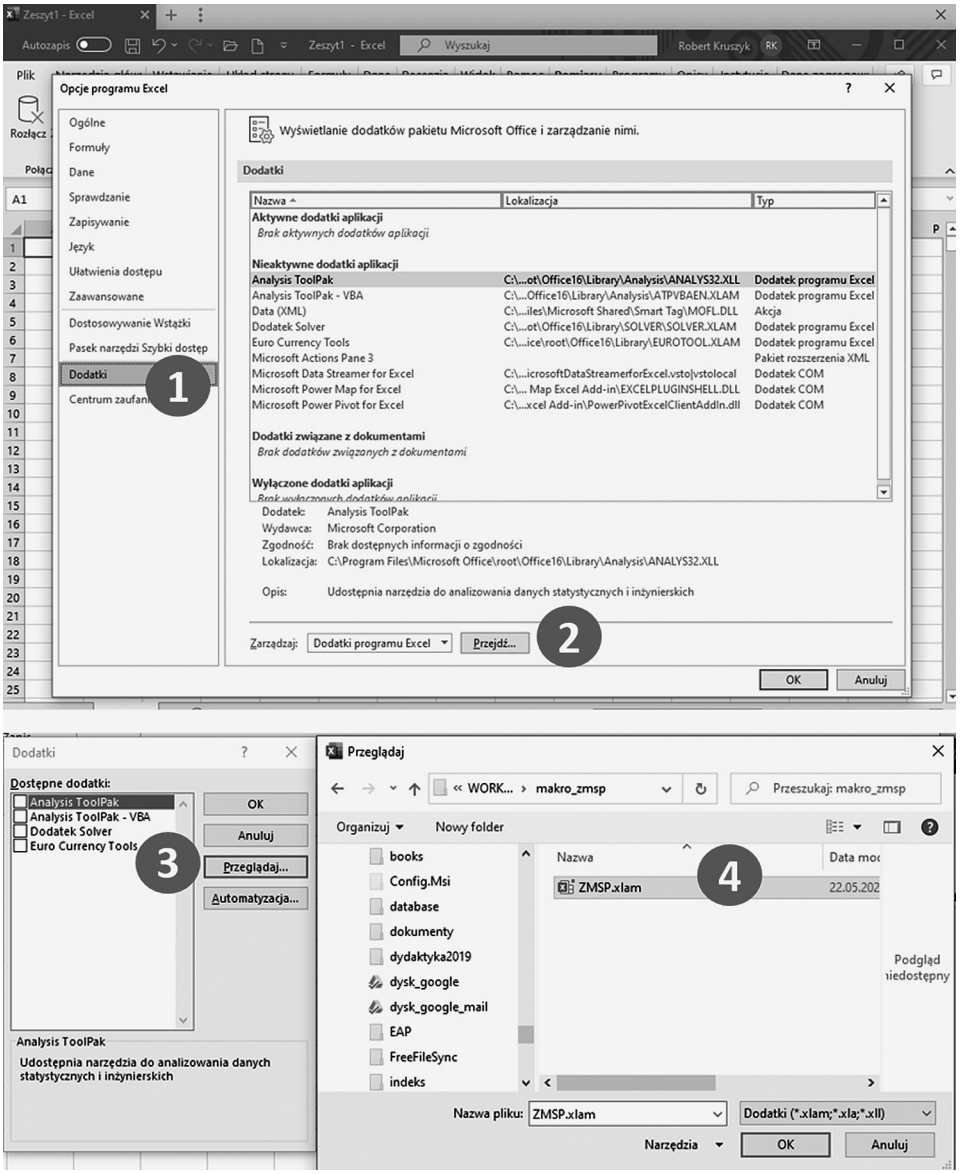
Po skonfigurowaniu źródła danych należy wykonać test połączenia oraz zapisać konfigurację.



Ryc. 9.2. Konfiguracja połączenia z bazą danych ZMŚP

9.2.2. Konfiguracja dodatku ZMSP w programie MS Excel

W celu konfiguracji dodatku ZMSP w programie MS Excel należy przejść do menu *Plik* i wybrać opcję *Dodatki* (1), a następnie *Przejdź* (2). W oknie *Dodatki* (3) wybrać przycisk *Przeglądaj* i wskazać katalog, w którym zapisano plik dodatku ZMSP. xlam (ryc. 9.3). Należy pamiętać, aby katalog ten dodać do lokalizacji zaufanych



Ryc. 9.3. Konfiguracja dodatku w programie MS Excel (opis w tekście)

(*Plik → Opcje programu Excel → Centrum zaufania → Ustawienia Centrum zaufania → Zaufane lokalizacje → Dodaj nową lokalizację*).

Zainstalowany dodatek umożliwia:

- pobieranie danych pomiarowych i zagregowanych (podstawowe statystyki) z bazy danych do arkusza kalkulacyjnego;
- weryfikację danych pomiarowych (etap 1) i ich załadowanie do bazy;
- pobieranie informacji o systemie pomiarowym i słowników.

Po zainstalowaniu dodatku w programie MS Excel w menu pojawiają się nowe karty:

- *POMIARY*,
- *PROGRAMY*,
- *OPISY*,
- *INSTYTUCJE*,
- *DANE ZAGREGOWANE*.

W celu nawiązania połączenia z bazą danych należy kliknąć w ikonę *POŁĄCZ*, kliknięcie w ikonę *ROZŁĄCZ* spowoduje zamknięcie połączenia z bazą danych. Aby wyłączyć nowy zestaw kart, należy użyć przycisku *ZAMKNIJ*. W celu ponownej aktywacji kart w menu należy ponownie uruchomić program.

9.3. Zasady kodowania danych pomiarowych

9.3.1. Struktura plików z danymi obserwacyjnymi

Podstawowym wymogiem tworzenia bazy danych ZMŚP jest jednolity format danych niezależnie od programu pomiarowego i typu danych. Dane należy przygotować w arkuszu kalkulacyjnym MS Excel. Pozwoli to na ich weryfikację (etap 1) oraz bezpośrednie załadowanie do bazy danych. W przypadku kolumn, dla których podano typ danych tekst, należy wprowadzać ciągi znaków pisane dużymi literami (poza kolumną jednostka). **Kolejność kolumn w arkuszu kalkulacyjnym ma znaczenie.**

Obowiązującą strukturę arkusza z danymi pomiarowymi zamieszczono w tabeli 9.1. W arkuszu danych należy zachować bezwzględnie sekwencję rekordów wynikającą z interwału czasowego pomiarów. W przypadku braku pomiarów (np. awaria rejestratora, brak zjawiska) należy wprowadzić do bazy rekordy z pustą komórką w kolumnie wartość i odpowiednią flagą jakości danych w kolumnie jakość danych (flaga z grupy M). Pozostałe pola należy wypełnić zgodnie z zasadami zapisu danych w bazie.

9.3.2. Zasady kodowania programów i parametrów pomiarowych

Kod programu pomiarowego składa się z dwóch znaków alfanumerycznych i jest unikalny w ramach systemu pomiarowego ZMŚP (tab. 9.2).

Szczegółowe i aktualne informacje o programach i parametrach pomiarowych dostępne są w karcie *PROGRAMY* w programie MS Excel po zainstalowaniu dodatku ZMSP.

9.3.3. Zasady kodowania obszarów badawczych (Stacji Bazowych), stanowisk pomiarowych oraz instytucji prowadzących pomiary

Identyfikator Stacji Bazowej złożony jest z czterech znaków alfanumerycznych i jest unikalny w ramach sieci pomiarowej ZMŚP (tab. 9.3). Szczegółowe

Tabela 9.1. Struktura arkusza dla danych pomiarowych

Nazwa kolumny	Kolumna w arkuszu	Nagłówek kolumny w dodatku ZMŚP	Typ danych, liczba znaków	Czy dane są wymagane	Przykład zapisu	Opis	Ścieżka dostępu do danych słownikowych w dodatku ZMŚP w programie MS Excel
Program pomiarowy	A	PR	tekst, 2	TAK	A1	Kod programu pomiarowego, unikalny w ramach ZMŚP	Programy/Programy
Stacja Bazowa	B	SB	tekst, 4		05ZM	Unikalny kod Stacji Bazowej w ramach ZMŚP	Instytucje/Stacje Bazowe
Instytucja	C	IN	tekst, 2		IE	Unikalny kod instytucji (np. laboratorium) wykonującej pomiary w ramach ZMŚP	Instytucje/Instytucje, Instytucje/Laboratoria
Stanowisko pomiarowe	D	ST	tekst, 3		001	Unikalny w ramach Stacji Bazowej kod stanowiska pomiarowego	Instytucje/Stanowiska, Instytucje/Programy na stanowiskach
Medium	E	ME	tekst	NIE, pole opcjonalne	WET	Kody specyficzne dla każdego programu, obejmuje kody roślin, typów i podtypów gleb itp.	Programy/Media
Słownik kodów medium	F	LM	tekst, 2	TAK, jeżeli podano medium	DB	Kod słownika medium	Programy/Listy medium Programy/Media
Poziom pomiaru	G	POZ	liczba	NIE, pole opcjonalne	100	Poziom (wysokość, głębokość) pomiaru w cm	Nie dotyczy
Data pomiaru	H	DATA	tekst, 10	TAK	2019–10-00	Data pomiaru w formacie: RRRR-MM-DD, RRRR-MM-00, RRRR-00-00	
Skala pomiaru	I	SK	liczba	NIE, pole opcjonalne	5	Liczba urządzeń, punktów pomiarowych, próbek	

Kod parametru pomiarowego	J	PA	tekst	TAK	PH	Kod parametru pomiarowego	Programy/Parametry Programy/Parametry w programach
Słownik kodów parametrów	K	LP	tekst, 2		IM	Kod słownika parametrów	Programy/Listy parametrów Programy/Parametry Programy/Parametry w programach
Wartość pomiaru	L	Wartość	liczba		25,6	Wartość pomiaru	Nie dotyczy
Jakości danych	M	JD	tekst	NIE, pole opcjonalne	L1	Kod jakości danych	Opisy/Jakość danych
Typ danych	N	TD	tekst, 1		X	Kod typu danych	Opisy/Typy danych
Metoda wstępnego przygotowania próbki	O	PP	tekst		F1	Kod metody wstępnego przygotowania próbki	Opisy/Metody przygotowania próby
Słownik kodów wstępnego przygotowania próbki	P	LPP	tekst, 2	TAK, jeżeli podano metodę wstępnego przygotowania próbki	DB	Kod słownika kodów metod wstępnego przygotowania próbki	Opisy/Metody przygotowania próby
Metoda analityczna	Q	MP	tekst	NIE, pole opcjonalne	IC	Kod metody analitycznej	Opisy/Metody pomiarowe
Słownik kodów metody analitycznej	R	LMP	tekst, 2	TAK, jeżeli podano metodę analityczną	DB	Kod słownika kodów metod analitycznych	Opisy/Metody pomiarowe
Jednostka	S	JE	tekst	TAK	mg/l	Jednostka pomiaru	Programy/Parametry w programach
Dodatkowa informacja	T	INFO	tekst	NIE, pole opcjonalne	10–14	Dodatkowe informacje	Nie dotyczy

informacje o Stacjach Bazowych można uzyskać w karcie *INSTYTUCJE* w grupie *Stacje Bazowe* w programie MS Excel.

Każde stanowisko pomiarowe w ramach sieci pomiarowej Stacji Bazowej ma unikalny identyfikator złożony z trzech cyfr (000-999). Połączenie kodu Stacji

Bazowej i numeru stanowiska np. 01ZM-001 stanowi unikalny identyfikator w ramach całej sieci pomiarowej ZMŚP.

Tabela 9.2. Zestawienie kodów programów pomiarowych

Kod programu pomiarowego	Nazwa programu pomiarowego
A1	Meteorologia
B1	Zanieczyszczenie powietrza
C1	Chemizm opadów atmosferycznych
C2	Chemizm opadu podkoronowego
C3	Chemizm spływu po pniach
D1	Metale ciężkie i siarka w porostach
D2	Metale ciężkie i siarka w mchach
E1	Gleby
F1	Chemizm roztworów glebowych
F2	Wody podziemne
G2	Wody powierzchniowe – rzeki
H1	Wody powierzchniowe – jeziora
H2	Opad organiczny
I1	Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego
J2	Struktura i dynamika szaty roślinnej (powierzchnie stałe)
J3	Monitoring gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – rośliny
K1	Uszkodzenia drzew i drzewostanów

Tabela 9.3. Identyfikatory Stacji Bazowych ZMŚP

Identyfikator w programie ZMŚP	Nazwa krótka	Identyfikator w programie Integrated Monitoring
01ZM	Puszcza Borecka	PL01
05ZM	Wigry	PL05
06ZM	Parsęta	PL06
07ZM	Pojezierze Chełmińskie	PL07
08ZM	Kampinos	PL08
09ZM	Łysogóry	PL09
10ZM	Beskid Niski	PL10
11ZM	Wolin	PL11
12ZM	Roztocze	PL12
13ZM	Poznań Morasko	PL13
14ZM	Karkonosze	PL14

W przypadku numeracji stanowisk pomiarowych należy przestrzegać następujących zasad:
- kod stanowiska w ramach danej Stacji Bazowej jest unikalny;
- w przypadku zakończenia pomiarów na danym stanowisku używany dla niego identyfikator nie może zostać ponownie wykorzystany; informację o zakończeniu pomiarów na stanowisku należy bezzwłocznie przekazać do administratora bazy danych;
- w przypadku pomiarów parametrów obejmujących całą zlewnię badawczą należy stosować numer stanowiska 000, który jest środkiem geometrycznym zlewni;
- w celu zarejestrowania nowych stanowisk w bazie Stacja zobowiązana jest do przekazania administratorowi następujących informacji:
  – numeru stanowiska;
  – współrzędnych geograficznych stanowiska w układzie WGS84 w formacie DD.DDDDDD;
  – realizowanych na stanowisku programów pomiarowych;
  – typu stanowiska, np. powierzchnia badawcza, odcinek badawczy, punkt pomiarowy;
- jeżeli w programie C1 (Chemizm opadów atmosferycznych) równolegle pobierana jest frakcja mokra i całkowita opadu i dane wprowadzane do bazy dotyczą obu tych frakcji, należy wprowadzić dwa stanowiska pomiarowe – jedno dla opadu całkowitego i drugie dla opadu mokrego; nie dotyczy to sytuacji, gdy część parametrów jest mierzona w opadzie całkowitym, a reszta w opadzie mokrym;
- w programie J2 (Struktura i dynamika szaty roślinnej – powierzchnie stałe) stanowiskiem jest powierzchnia badawcza 40 × 40 m; w przypadku powierzchni 20 × 20 m jej identyfikator (A, B, C, D) umieszczamy w kolumnie INFO (T);
- w programie J3 (Monitoring gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – rośliny) stanowiskiem pomiarowym jest powierzchnia badawcza 10 × 10 m. W przypadku części parametrów odnoszących się do całej zlewni badawczej należy podać kod 000.

9.3.4. Zasady kodowania daty

Dla każdego wyniku umieszczonego w bazie danych obligatoryjnie należy podać datę wykonania pomiaru, poboru próbki lub okresu zakończenia ekspozycji. Data pomiaru składa się z 10 znaków zapisywanych jako tekst. Struktura kodu daty jest następująca:
- RRRR-MM-DD dla wyniku pomiaru wykonanego raz na okres pomiarowy lub kiedy wynik stanowi wartość zagregowaną dla doby;
- RRRR-MM-00 dla wyniku pomiaru, który jest wartością zagregowaną dla miesiąca lub jest wartością oznaczoną w próbce zlewanej z okresu miesięcznego;
- RRRR-00-00 dla wyniku, który stanowi wartość zagregowaną dla roku lub jest wartością oznaczoną w próbce rocznej;
  gdzie: RRRR – rok, MM – miesiąc, DD – dzień w miesiącu.

Szczegółowe zasady kodowania daty w różnych programach pomiarowych zamieszczono w tabeli 9.4.

Tabela 9.4. Zasady kodowania daty w programach pomiarowych

Program pomiarowy	Format daty	Uwagi
Meteorologia (A1)	RRRR-MM-DD	Dla wszystkich parametrów
Zanieczyszczenie powietrza (B1)	RRRR-MM-DD	Dla metody manualnej i automatycznej
	RRRR-MM-00	Dla metody pasywnej
Chemizm opadów atmosferycznych (C1), Chemizm opadu podkoronowego (C2), Chemizm spływu po pniach (C3), Chemizm roztworów glebowych (F1)	RRRR-MM-00	Dla wszystkich parametrów
Wody podziemne (F2)	RRRR-MM-DD	Dla wszystkich parametrów, jeżeli pomiary są wykonywane raz w okresie pomiarowym
	RRRR-MM-00	Dla poziomu wód podziemnych i wydajności źródła, jeżeli podawane są wyniki zagregowane dla okresu pomiarowego
Opad organiczny (G2)	RRRR-MM-00	Dla masy opadu organicznego
	RRRR-00-00	Dla stężeń pierwiastków
Wody powierzchniowe – rzeki (H1)	RRRR-MM-DD	Dla poziomu, przepływu, zarastania koryta, zjawisk lodowych oraz pozostałych parametrów, jeżeli pomiary są wykonywane raz na okres pomiarowy
	RRRR-MM-00	Dla parametrów fizykochemicznych i chemicznych, jeżeli podawane są jako wartości zagregowane lub oznaczane w próbkach łączonych z całego okresu pomiarowego
Wody powierzchniowe – jeziora (H2)	RRRR-MM-DD	Dla poziomu wody oraz pozostałych parametrów, jeżeli pomiar jest wykonywany raz na okres pomiarowy
	RRRR-MM-00	Dla parametrów fizykochemicznych i chemicznych, jeżeli podawane są jako wartości zagregowane lub oznaczane w próbkach łączonych z całego okresu pomiarowego
Gleby (E1), Hydrobiologia rzek – makrofity i ocena hydromorfologiczna koryta rzecznego (I1), Struktura i dynamika szaty roślinnej (powierzchnie stałe) (J2), Monitoring gatunków inwazyjnych obcego pochodzenia – rośliny (J3), Uszkodzenia drzew i drzewostanów (K1)	RRRR-MM-DD	Dla wszystkich parametrów

9.4. Weryfikacja danych pomiarowych i ładowanie do bazy danych

Proces weryfikacji danych pomiarowych obejmuje dwa etapy: etap weryfikacji formalnej przeprowadzany w czasie procesu ładowania do bazy danych pomiarowych przez Stacje Bazowe oraz etap weryfikacji merytorycznej, która odbywa się po stronie serwera, z wykorzystaniem procedur zaimplementowanych w języku SQL.

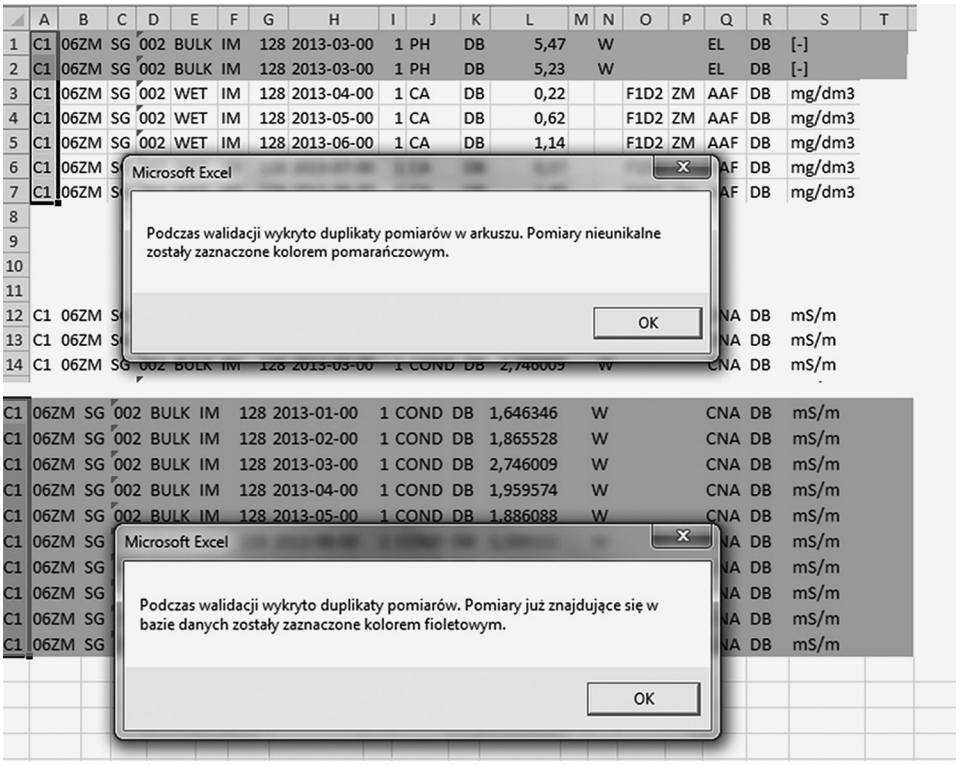
Pierwszy etap walidacji wykonywany jest w oparciu o dane słownikowe pobrane z bazy danych i obejmuje kontrolę:

- struktury arkusza (liczbę i kolejność kolumn, typ danych);
- wykorzystywanych oznaczeń kodowych programów i parametrów pomiarowych, metod analitycznych, mediów, instytucji wykonujących pomiary;
- występowania powtarzających się danych na poziomie arkusza kalkulacyjnego i bazy danych;
- formatu i zakresu stosowanych dat;
- czy dany parametr jest mierzony w danym programie pomiarowym;
- czy dany parametr w danym programie ma przypisane odpowiednie dane słownikowe;
- czy podana jednostka jest poprawna dla danego parametru w danym programie pomiarowym;
- czy wykorzystana metoda analityczna była wykorzystywana przez podane laboratorium;
- czy wartość pomiaru mieści się w przedziale referencyjnym.

Narzędzia do przeprowadzenia weryfikacji i ładowania danych do bazy dostępne są w karcie *POMIARY* (ikony: *ZAPISZ* i *WERYFIKUJ*).

Weryfikację i ładowanie danych do bazy można wykonać dwoma metodami:

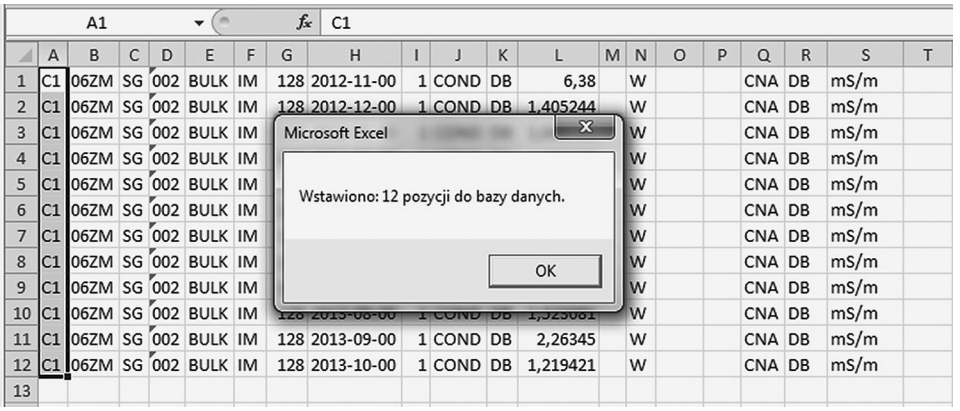
- Metoda pierwsza (ikona *ZAPISZ*) polega na uruchomieniu procedury weryfikacji i po jej pozytywnym zakończeniu załadowaniu danych do bazy. Jeżeli w arkuszu występują błędy, wszystkie zaznaczone zostaną na kolor czerwony. Pojawi się ogólny komunikat o wystąpieniu błędów, przy jednoczesnym braku informacji o ich przyczynie. Ta metoda sprawdza również występowanie duplikatów danych. Jeżeli w zakresie weryfikowanych danych występują duplikaty, zostaną zaznaczone kolorem fioletowym, jeśli takie dane już są w bazie danych, lub kolorem pomarańczowym, jeśli powtarzające się dane występują w arkuszu kalkulacyjnym (ryc. 9.4). Dla systemu duplikatem są dwa wiersze, które mają takie same wartości we wszystkich kolumnach lub tylko różnią się wartością pomiaru (kolumna L – wartość).
- Metoda druga przebiega dwustopniowo. W pierwszym kroku (ikona *WERYFIKUJ*) następuje weryfikacja danych do momentu napotkania pierwszego błędu. Błędny rekord zostaje zaznaczony na kolor czerwony oraz pojawia się komunikat ze szczegółową informacją o przyczynie błędu. Na tym etapie nie jest sprawdzane występowanie duplikatów. Procedura zatrzymuje się przy pierwszym napotkanym błędzie. Dalsza kontrola danych wymaga ponownego zaznaczenia zakresu danych i naciśnięcia przycisku *WERYFIKUJ*. Po usunięciu wszystkich błędów, aby załadować dane do bazy, należy nacisnąć ikonę *ZAPISZ*. Dane zostają ponownie sprawdzone również pod kątem występowania duplikatów.



Ryc. 9.4. Kontrola występowania duplikatów na poziomie arkusza kalkulacyjnego i bazy danych. Wartości powtarzające się w arkuszu kalkulacyjnym zaznaczane są kolorem pomarańczowym, wartości załadowane już do bazy kolorem fioletowym

Nie ma możliwości umieszczenia danych w bazie, jeżeli w eksportowanym zakresie danych znajduje się przynajmniej jeden błędny rekord. Po załadowaniu do bazy danych pojawi się komunikat o liczbie załadowanych wyników do bazy (ryc. 9.5).

Drugi etap weryfikacji przeprowadzany jest na poziomie administratora systemu i odbywa się po stronie serwera. W tym celu używane są skrypty i procedury zaimplementowane w języku SQL w środowisku programu EMS SQL Manager for PostgreSQL oraz w programie MS Access. Analiza obejmuje występowanie wartości odstających, kontrolę bilansu jonowego, graficzną analizę trendów, porównanie przewodności elektrolitycznej zmierzonej i obliczonej na podstawie stężeń jonów oraz zależności pomiędzy wybranymi parametrami. Weryfikacja danych na tym etapie polega na ich zaklasyfikowaniu do zasobu – dane otrzymują status danych ZWERYFIKOWANYCH albo pozostawieniu do wyjaśnienia z pracownikami Stacji Bazowej lub ekspertem ZMŚP.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	C1	06ZM	SG	002	BULK	IM	128	2012-11-00	1	COND	DB	6,38		W			CNA	DB	mS/m	
2	C1	06ZM	SG	002	BULK	IM	128	2012-12-00	1	COND	DB	1,405244		W			CNA	DB	mS/m	
3	C1	06ZM	SG	002	BULK	IM								W			CNA	DB	mS/m	
4	C1	06ZM	SG	002	BULK	IM								W			CNA	DB	mS/m	
5	C1	06ZM	SG	002	BULK	IM								W			CNA	DB	mS/m	
6	C1	06ZM	SG	002	BULK	IM								W			CNA	DB	mS/m	
7	C1	06ZM	SG	002	BULK	IM								W			CNA	DB	mS/m	
8	C1	06ZM	SG	002	BULK	IM								W			CNA	DB	mS/m	
9	C1	06ZM	SG	002	BULK	IM								W			CNA	DB	mS/m	
10	C1	06ZM	SG	002	BULK	IM								W			CNA	DB	mS/m	
11	C1	06ZM	SG	002	BULK	IM	128	2013-09-00	1	COND	DB	2,26345		W			CNA	DB	mS/m	
12	C1	06ZM	SG	002	BULK	IM	128	2013-10-00	1	COND	DB	1,219421		W			CNA	DB	mS/m	
13																				

Ryc. 9.5. Komunikat potwierdzający załadowanie danych do bazy danych

9.5. Zasady oflagowania danych pomiarowych

W przypadku danych pomiarowych obarczonych istotnym poziomem niepewności lub brakiem wymaganej kompletności należy podczas przygotowania danych do bazy oflagować wynik pomiaru odpowiednim zestawem flag w kolumnie jakość danych. W ramach systemu kontroli jakości wyników monitoringu w ZMŚP obowiązują dwa zestawy flag (tab. 9.5):

- flagi jakości dedykowane dla pracowników Stacji Bazowych (grupa od B do M);
- flagi jakości danych, które nadaje administrator bazy danych lub ekspert ZMŚP (grupa A).

Zasady łączenia flag jakości danych:

- maksymalnie można połączyć 4 flagi, każda flaga jest oddzielona myślnikiem, bez spacji;
- kolejność łączenia flag nie ma znaczenia;
- flag z grupy M nie łączy się z flagami z innych grup;
- nie używa się flag z grupy A (flagi nadawane przez administratora bazy lub eksperta ZMŚP);
- nie łączy się flag z grupy: C, D, E (wartość nieważna) z flagami grupy B;
- nie łączy się flag z grupy K, M i E między sobą;
- nie łączy się flag wartość ważna – wartość nieważna, jeżeli dotyczą tej samej podgrupy, np. B1 z B2 lub C2 z C3;
- niedopuszczalne są następujące połączenia między flagami: B5-L1, B6-L1, C1-C2, C1-C3.

Wyniki pomiarów oznaczone jako wartość nieważna są archiwizowane w bazie danych, nie są wykorzystywane w procesie agregacji danych pomiarowych, weryfikacji wyników pomiarów oraz nie są przekazywane do innych systemów pomiarowych. Poza flagami z grupy M w pozostałych przypadkach należy do bazy przekazać oflagowany wynik pomiarów.

Tabela 9.5. Zestawienie flag jakości danych pomiarowych

Kod flagi	Opis	Komentarz
A	**Kontrola jakości wyników, wartości ekstremalne – flagi administratora**	Zestaw flag wykorzystywany przez administratora lub eksperta ZMŚP w ramach procesu weryfikacji danych pomiarowych. O zaliczeniu do wartości ważnych – nieważnych decyduje administrator w porozumieniu z odpowiednim ekspertem ZMŚP
A1	Niezgodność wykryta podczas kontroli bilansu jonowego – **wartość ważna**	
A2	Niezgodność wykryta podczas kontroli bilansu jonowego – **wartość nieważna**	
A3	Niezgodność między zmierzoną i obliczoną przewodnością elektrolityczną próbki – **wartość ważna**	
A4	Niezgodność między zmierzoną i obliczoną przewodnością elektrolityczną próbki – **wartość nieważna**	
A5	Ekstremalna wysoka wartość, przyczyna nieznana – **wartość ważna**	
A6	Ekstremalna wysoka wartość, przyczyna nieznana – **wartość nieważna**	
A7	Ekstremalna niska wartość, przyczyna nieznana – **wartość ważna**	
A8	Ekstremalna niska wartość, przyczyna nieznana – **wartość nieważna**	
A9	Niezgodność z innymi pomiarami – **wartość ważna**	
A10	Niezgodność z innymi pomiarami – **wartość nieważna**	
A11	Przebieg czasowy parametru niezgodny z rozkładem wynikającym z natury zjawiska – **wartość nieważna**	
A12	Przebieg czasowy parametru niezgodny z rozkładem wynikającym z natury zjawiska – **wartość ważna**	
B	**Kontrola jakości wyników, wartości ekstremalne – flagi Stacji Bazowych**	Zestaw flag wykorzystywany przez Stacje Bazowe w ramach procesu weryfikacji danych pomiarowych. O zaliczeniu do wartości ważnych – nieważnych decyduje Stacja Bazowa w porozumieniu z odpowiednim ekspertem ZMŚP

Kod flagi	Opis	Komentarz
B1	Niezgodność wykryta podczas kontroli bilansu jonowego – **wartość ważna**	Należy oflagować wszystkie główne jony. W przypadku roztworów kwaśnych także pH, Fe, Al, Mn (jeżeli są oznaczane)
B2	Niezgodność wykryta podczas kontroli bilansu jonowego – **wartość nieważna**	
B3	Niezgodność między zmierzoną i obliczoną przewodnością elektrolityczną próbki – **wartość ważna**	Należy oflagować przewodność elektrolityczną właściwą oraz wszystkie główne jony. W przypadku roztworów kwaśnych także pH, Fe, Al, Mn (jeżeli są oznaczane)
B4	Niezgodność między zmierzoną i obliczoną przewodnością elektrolityczną próbki – **wartość nieważna**	
B5	Ekstremalna wysoka wartość, przyczyna nieznana – **wartość ważna**	
B6	Ekstremalna wysoka wartość, przyczyna nieznana – **wartość nieważna**	
B7	Ekstremalna niska wartość, przyczyna nieznana – **wartość ważna**	
B8	Ekstremalna niska wartość, przyczyna nieznana – **wartość nieważna**	
B9	Niezgodność z innymi pomiarami – **wartość ważna**	Należy stosować w sytuacji niezgodności pomiędzy parametrami w ramach programu lub między programami. Dotyczy zależności np. pomiędzy stężeniami Na i Cl w programach C1, C2, C3; pH i zasadowością (próbki wody) itp. Należy oflagować obie wartości. W sytuacji, kiedy jedna z tych wartości znacząco odbiega od dotychczasowych wyników używamy flagi B10
B10	Niezgodność z innymi pomiarami – **wartość nieważna**	
C	**Obniżenie dokładności pomiaru – odstępstwa od metodyki**	
C1	Obniżenie dokładności pomiaru z powodu dłuższego od normalnego okresu zbierania (ekspozycji) próbki – **wartość ważna**	Stosowana w sytuacji, kiedy czas trwania okresu pomiarowego był dłuższy niż wymagany
C2	Obniżenie dokładności pomiaru z powodu krótszego od normalnego okresu zbierania (ekspozycji) próbki, rejestracji parametru – **wartość ważna**	Stosowana w sytuacjach, kiedy część okresu pomiarowego nie była objęta monitoringiem na skutek zanieczyszczenia próbek, awarii urządzenia pomiarowego, braku zasilania itp. Flagę C3 należy Należy stosować w sytuacjach, kiedy długość przerwy w pomiarze znacząco odbiegała od zasad realizacji monitoringu danego parametru. W przypadku wątpliwości należy skonsultować się z ekspertem ZMŚP
C3	Obniżenie dokładności pomiaru z powodu krótszego od normalnego okresu zbierania (ekspozycji) próbki, rejestracji parametru – **wartość nieważna**	

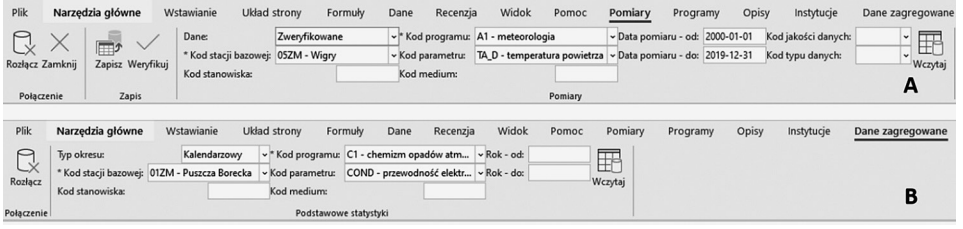
Kod flagi	Opis	Komentarz
C4	Obniżenie dokładności pomiaru z powodu przepełnienia kolektora – **wartość ważna**	Należy stosować dla wszystkich parametrów pomiarowych mierzonych w próbce z okresu, kiedy nastąpiło przepełnienie kolektora. W tej sytuacji wysokość opadu (spływu) należy oszacować na podstawie zależności pomiędzy parametrami, jeżeli są one statystycznie istotne, i oflagować kombinacją flag C4-K1
C5	Obniżenie dokładności pomiaru z powodu mniejszej liczby kolektorów (próbników, rejestratorów) niż wymaga metodyka pomiaru – **wartość ważna**	Stosowana w sytuacji, kiedy część urządzeń pomiarowych (kolektorów, próbników, rejestratorów) została uszkodzona, uległa awarii lub była zanieczyszczona. W przypadku zniszczenia (awarii, zanieczyszczenia) całego systemu pomiarowego lub takiej jego części, gdzie otrzymany wynik nie jest reprezentatywny dla stanowiska, należy użyć flagi M2
C6	Obniżenie dokładności oznaczeń analitycznych z powodu obecności czynników zakłócających – **wartość ważna**	Stosowana w sytuacjach występowania czynników mających wpływ na wynik oznaczeń laboratoryjnych np. zabarwienie próbki. Należy stosować do parametrów fizykochemicznych i chemicznych. Flaga obecnie nieużywana, wykorzystywana do pomiarów archiwalnych
C7	Obniżenie dokładności pomiaru z powodu występowania ekstremalnych wartości spoza przedziału wartości dopuszczalnych. Wartości te zostają zastąpione wartościami obliczonymi. Dotyczy wartości podawanych jako agregaty – **wartość ważna**	Stosowana kiedy wartość do bazy podawana jest jako agregat np. dane meteorologiczne (dane dobowe). Wartości błędne pochodzące z pomiarów chwilowych (np. godzinnych) zostają zastąpione wartościami obliczonymi na podstawie zależności, obliczeń teoretycznych itp. Flagę tą używamy w sytuacjach kiedy wartości obliczone stanowią niewielki udział w wartościach agregowanych.
D	**Obniżenie dokładności pomiaru – przyczyny naturalne**	
D1	Obniżenie dokładności pomiaru – przyczyny naturalne – **wartość ważna**	Stosowane w sytuacjach, kiedy na wynik pomiaru miały wpływ zwierzęta (np. bobry), procesy ekstremalne (np. wezbrania, zjawiska pogodowe, procesy stokowe, zjawiska lodowe). W okresie pomiarowym mogą występować sytuacje, kiedy nasilenie procesu przekraczało możliwości pomiarowe rejestratorów. O zaliczeniu do wartości ważnych – nieważnych decyduje Stacja Bazowa w porozumieniu z odpowiednim ekspertem ZMŚP
D2	Obniżenie dokładności pomiaru – przyczyny naturalne – **wartość nieważna**	
E	Obniżenie dokładności pomiaru – zanieczyszczenie próbki	

Kod flagi	Opis	Komentarz
E1	Obniżenie dokładności pomiaru z powodu zanieczyszczenia próbki materiałem organicznym lub mineralnym, np. pyłkami, odchodami ptasimi, pyłami – **wartość ważna**	Flagi E1 i E2 stosujemy w sytuacji, kiedy dochodzi do zanieczyszczenia próbki. Flagę E2 dla tych parametrów, gdzie obecne w próbce zanieczyszczenia miały decydujący wpływ na wartość tych parametrów, np. na zawartość związków azotu w przypadku zanieczyszczenia odchodami ptasimi. Dla pozostałych parametrów zmierzonych w tej próbce umieszczamy flagę E1
E2	Obniżenie dokładności pomiaru z powodu zanieczyszczenia próbki materiałem organicznym, np. pyłkami, odchodami ptasimi, pyłami – **wartość nieważna**	
K	**Wartość oszacowana lub pozyskana z innych źródeł**	
K1	Wartość brakująca uzyskana na podstawie korelacji współzależności między parametrami – **wartość ważna**	Stosowane, kiedy istnieją statystycznie istotne zależności pomiędzy parametrami, np. pomiędzy stężeniem jonów sodu i jonów chlorkowych w opadach, wysokością opadu na terenie otwartym i pod koronami drzew itp.
K2	Wartość brakująca pozyskana od instytucji zewnętrznych lub z innych stanowisk pomiarowych stacji z uwzględnieniem poprawek – **wartość ważna**	Jeżeli istnieją inne źródła danych, które wartości są reprezentatywne dla obszaru stacji
K3	Wartość przewodności elektrolitycznej właściwej obliczona na podstawie stężeń jonów – **wartość ważna**	Stosujemy, jeżeli na podstawie przeprowadzonej kontroli przewodności wartość jest obarczona błędem lub jej nie zmierzono (np. zbyt mała objętość próbki). Aby obliczyć przewodność na podstawie stężeń jonów, wymagany jest domknięty bilans jonowy oraz stężenia głównych jonów
K4	Wartość brakująca uzupełniona danymi zagregowanymi, np. średnią – **wartość ważna**	
L	**Wartość pomiaru poniżej progu oznaczalności**	
L1	Wartość pomiaru poniżej progu oznaczalności. Wpisano wartość równą progowi oznaczalności – **wartość ważna**	
M	**Brak danych**	
M1	Brak danych – brak zjawiska, przyczyny naturalne	Stosujemy w sytuacjach braku zjawiska z przyczyn naturalnych, np. brak odpływu korytowego, susza glebowa, brak opadów
M2	Brak danych – brak pomiaru, utrata próbki w wyniku nieoczekiwanych działań czynników zewnętrznych	Stosujemy w sytuacjach zniszczenia stanowiska pomiarowego, awarii urządzenia itp.

Kod flagi	Opis	Komentarz
M3	Brak danych – za mała objętość próbki	Niewystarczająca objętość próbki, uniemożliwiająca wykonanie pełnego zestawu oznaczeń. Stosujemy dla tych parametrów, które nie zostały oznaczone
M4	Brak danych – zanieczyszczenie próbki	Obejmuje sytuacje, kiedy próbka z całego okresu pomiarowego jest silnie zanieczyszczona, np. w całym okresie pomiarowym wystąpił jeden epizod opadowy, który został zanieczyszczony. Na zanieczyszczenie próbki może wskazywać np. intensywny zapach gnilny. W tej sytuacji oznaczenia nie są wykonywane – komórka wartość pozostaje pusta

9.6. Przeglądanie i pobieranie danych pomiarowych i słowników

Zaprojektowany dodatek ZMSP obok weryfikacji i ładowania danych pomiarowych do bazy umożliwia przeglądanie i pobieranie danych pomiarowych (karta *POMIARY*) i zagregowanych (*DANE ZAGREGOWANE*) (ryc. 9.6).



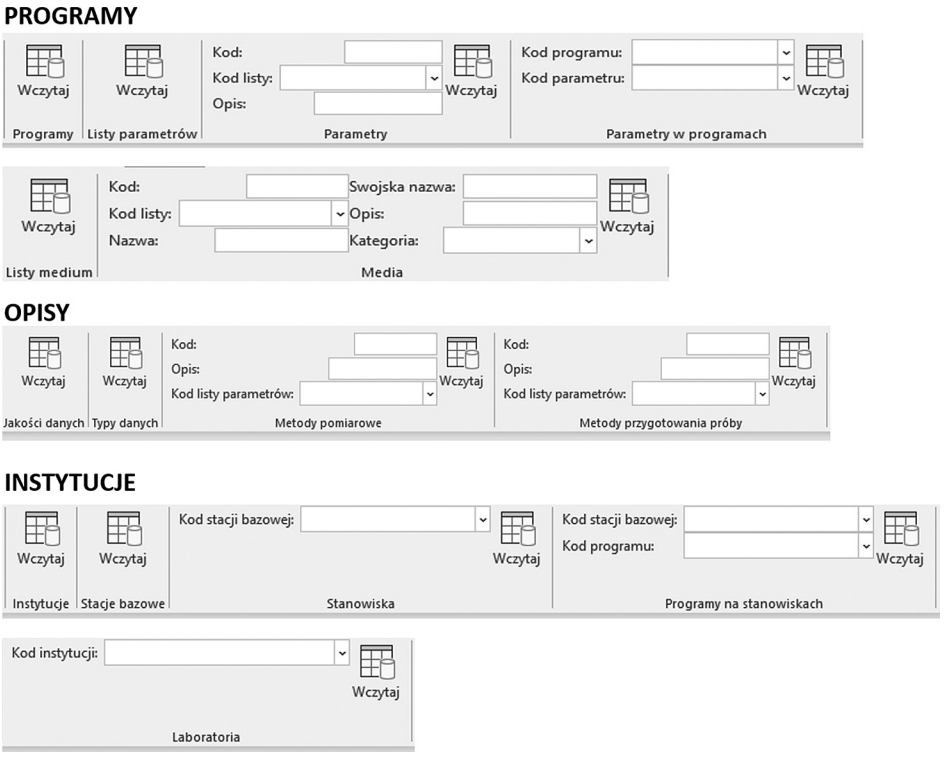
Ryc. 9.6. Pobieranie wyników pomiarów (A) oraz danych zagregowanych (B)

Dostępne wyniki pomiarów (karta *POMIARY*) zostały podzielone na trzy kategorie:

1. dane NIEZWERYFIKOWANE – obejmujące pomiary, które przeszły pozytywnie pierwszy etap weryfikacji (weryfikacja formalna);
2. dane CZĘŚCIOWO ZWERYFIKOWANE – obejmujące pomiary będące w trakcie weryfikacji merytorycznej (etap 2);
3. dane ZWERYFIKOWANE – obejmujące wyniki zatwierdzone, które przeszły pozytywnie drugi etap weryfikacji.

W celu pobrania danych pomiarowych do arkusza kalkulacyjnego należy obligatoryjnie podać kod Stacji Bazowej oraz kod programu pomiarowego. Pozostałe opcje (kod parametru pomiarowego, stanowisko, zakres czasowy, kod medium, kod jakości i typów danych) są opcjonalne (ryc. 9.6A). Można również przeglądać i pobierać dane zagregowane dla roku kalendarzowego lub hydrologicznego (ryc.

9.6B). Dostępne dane obejmują następujące statystyki: średnią arytmetyczną, średnią ważoną, sumę, wartości ekstremalne (min, max), odchylenie standardowe, wybrane percentyle, rozstęp międzykwartylowy (IQR) oraz błąd standardowy (SE). Ponadto dostępna jest informacja o kompletności rocznych serii pomiarowych. W celu wyboru serii pomiarowej należy obligatoryjnie podać kod Stacji Bazowej oraz kod programu pomiarowego. Pozostałe opcje (typ okresu, kod stanowiska, kod parametru, kod medium oraz zakres lat) są opcjonalne.



Ryc. 9.7. Zestawienie kart dostępnych z poziomu programu MS Excel umożliwiających dostęp do danych słownikowych

Po zdefiniowaniu kryteriów, które powinny spełniać pobierane dane, należy kliknąć na ikonę *WCZYTAJ*.

Obok danych pomiarowych istotnym zasobem są dane słownikowe (tab. 9.6), które są m.in. wykorzystywane w procesie weryfikacji danych pomiarowych. W bazie wykorzystywane są słowniki używane przez program Integrated Monitoring (słownik IM), słowniki opracowane przez Fiński Instytut Ochrony Środowiska i Szwedzką Agencję Ochrony Środowiska (słownik DB). Wykorzystywany jest również słownik ZM będący uzupełnieniem dwóch powyższych, zarządzany przez Centrum ZMŚP.

Tabela 9.6. Opis zakresu danych słownikowych dostępnych z poziomu dodatku ZMSP

Karta	Grupa	Opis
Programy	Programy	Zestawienie kodów i nazw programów pomiarowych
	Listy parametrów	Zestawienie kodów i nazw słowników
	Listy medium	
	Parametry	Zestawienie kodów parametrów i słowników oraz pełne nazwy parametrów pomiarowych
	Parametry w programach	Jw. oraz informacje o jednostkach, frekwencji pomiarów, czy parametr jest obligatoryjny, czy wymagany jest kod medium, metoda analityczna oraz poziom pomiaru
	Media	Zestawienie kodów i pełnych nazw mediów (gatunków roślin, typów i podtypów gleb, gatunków inwazyjnych – roślin monitorowanych w ramach programu J3, frakcji opadu, zanieczyszczeń powietrza)
Opisy	Jakość danych	Zestawienie kodów i opis flag jakości danych
	Typ danych	Zestawienie kodów i opis typów danych
	Metody pomiarowe	Zestawienie metod analitycznych – kody metod, pełne nazwy oraz kody słowników
	Metody przygotowania próbek	Zestawienie kodów, pełnych nazw i kodów słowników
Instytucje	Instytucje	Kody oraz dane teleadresowe instytucji współuczestniczących w realizacji monitoringu w ramach ZMŚP oraz jednostek, którym podlegają Stacje Bazowe
	Stacje Bazowe	Dane teleadresowe Stacji Bazowych
	Stanowiska	Kody, współrzędne geograficzne WGS84 oraz wysokość w m n.p.m. stanowisk pomiarowych
	Programy na stanowiskach	Jw. oraz informacja, które programy pomiarowe są realizowane na stanowisku pomiarowym, rok rozpoczęcia i zakończenia realizacji programu na stanowisku
	Laboratoria	Zestawienie metod analitycznych stosowanych przez laboratoria dla oznaczeń parametrów pomiarowych

Literatura

Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A., 1995. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.

Zwoliński Z., 1993. Projekt systemu informatycznego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego. W: A. Kostrzewski (red.), Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego w Polsce. Wybrane problemy. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 101–109.

10. Podsumowanie

Andrzej Kostrzewski, Mikołaj Majewski

Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Przedstawione wytyczne do realizacji programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, zawierające metodyki badań terenowych i laboratoryjnych, mają charakter otwarty. Należy zaznaczyć, że wytyczne do realizacji programu ZMŚP, wraz z metodykami, weryfikowane są co 3 lata. Postęp merytoryczny nauk o środowisku przyrodniczym, rozwój metod i technik badawczych sprawia, że prezentujemy kolejną, trzecią zweryfikowaną wersję wytycznych (Kostrzewski i in. 1995, 2006, Kostrzewski, Majewski 2021). Równocześnie wyrażamy przekonanie, że przedstawione wytyczne do realizacji programu ZMŚP spełniają podstawowe założenia nauk empirycznych, w tym nauk o środowisku przyrodniczym, jak również wymogi Głównego Inspektora Ochrony Środowiska związane z funkcjonowaniem ZMŚP w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska, a mianowicie:

- Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego stanowi kierunek badań w ramach Monitoringu Środowiska Przyrodniczego jako dyscypliny nauk o środowisku przyrodniczym.
- Pod względem metodologicznym indywidualnością programu ZMŚP jest jego przedmiot badań – zlewnia rzeczna lub jeziorna, traktowana jako geoekosystem, o charakterze otwartym, strukturze heterogenicznej. Tak więc możliwe jest rozpoznanie systemu dostawy do geoekosystemu energii i materii, określenie dróg krążenia i odprowadzania. Zastosowane podejście badawcze umożliwia ustalenie bilansu energetycznego i materialnego geoekosystemu zlewni rzecznej i jeziornej, przy przyjęciu różnych scenariuszy rozwoju.
- W postępowaniu badawczym realizowany jest podstawowy wymóg metodologiczny nauk empirycznych – systematyczna, planowa obserwacja, poparta eksperymentem terenowym i laboratoryjnym.
- Zalecane do realizacji metody badań terenowych i laboratoryjnych opracowane zostały przez ekspertów reprezentujących dyscypliny szczegółowe nauk przyrodniczych (m.in. klimatologa, hydrologa, gleboznawcę, botanika, leśnika), a więc zabezpieczona została poprawność merytoryczna badań poszczególnych elementów środowiska przyrodniczego.
- Przedstawione do realizacji metody badań terenowych i laboratoryjnych zostały sprawdzone i przetestowane. Aparatura badawcza terenowa i laboratoryjna jest standaryzowana i w oparciu o sugestie ekspertów odpowiednio zainstalowana na stanowiskach, transektach i powierzchniach testowych oraz w la-

boratoriach. Powyższa standaryzacja zabezpiecza uzyskiwanie wiarygodnych danych pomiarowych, które stanowią podstawę studiów porównawczych.
- Proponowane metodyki w zakresie monitoringu poszczególnych elementów środowiska przyrodniczego i różnych przejawów ich funkcjonowania starano się dostosować do programu europejskiego Integrated Monitoring, a także do dyrektywy pułapowej Unii Europejskiej (NEC).
- Zebrane na Stacjach Bazowych ZMŚP dane pomiarowe przekazywane są do Centralnej Bazy Danych, która mieści się w Centrum ZMŚP, gdzie są sprawdzane i weryfikowane w oparciu o odpowiednie testy statystyczne. Zweryfikowane dane pomiarowe są podstawą oceny stanu i tendencji rozwoju środowiska przyrodniczego geoekosystemu zlewni eksperymentalnych, służą celom merytorycznym, dydaktycznym, społecznym i aplikacyjnym.
- W oparciu o uzyskane dane pomiarowe sporządzane są przez Stacje Bazowe coroczne, standaryzowane raporty dotyczące stanu środowiska przyrodniczego monitorowanych geoekosystemów zlewni eksperymentalnych. W oparciu o raporty Stacji Bazowych w Centrum ZMŚP opracowywany jest raport syntetyczny o stanie środowiska przyrodniczego Polski, ze szczególnym zwróceniem uwagi na charakter i tendencje rozwoju na podstawie wybranych modeli prognostycznych. Raport syntetyczny przekazywany jest do Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska i umieszczany w Internecie.
- Organizowane sympozja i szkoły ZMŚP, publikacje, współpraca Stacji Bazowych z różnymi instytucjami i szkołami – stanowią podstawę upowszechniania wyników badań, a także umożliwiają popularyzację wiedzy o stanie środowiska przyrodniczego Polski i jego przemianach.

W kolejnym wydaniu wytycznych do realizacji programu ZMŚP rozszerzona zostanie metodyka i interpretacja wyników w zakresie:
- modelowania i studiów prognostycznych;
- inwentaryzacji procesów katastrofalnych, ich monitoringu i interpretacji;
- wypracowania wartości wskaźnikowych stanu i jakości środowiska przyrodniczego;
- większego powiązania programu ZMŚP z odpowiednim programem europejskim;
- większego wykorzystania technik GIS do wizualizacji przestrzennej wyników badań;
- wypracowania skróconych raportów o stanie środowiska przyrodniczego monitorowanej zlewni dla lokalnej społeczności i szkół;
- inwentaryzacji stanowisk georóżnorodności i bioróżnorodności.

Na zakończenie wyrażamy przekonanie, że wraz z postępem nauk o środowisku przyrodniczym, wymogami ze strony praktyki i społeczeństwa, będą zmieniały się wytyczne do realizacji programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego.