



You have downloaded a document from
RE-BUŚ
repository of the University of Silesia in Katowice

Title: Wybrane przemiany geomorfologiczne mis zbiorników wodnych i ocena zanieczyszczeń osadów zbiornikowych w warunkach zróżnicowanej antropopresji (na przykładzie regionu górnośląsko-zagłębiowskiego)

Author: Martyna A. Rzętała

Citation style: Rzętała Martyna A. (2014). Wybrane przemiany geomorfologiczne mis zbiorników wodnych i ocena zanieczyszczeń osadów zbiornikowych w warunkach zróżnicowanej antropopresji (na przykładzie regionu górnośląsko-zagłębiowskiego). Katowice : Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego.



Uznanie autorstwa - Użycie niekomercyjne - Bez utworów zależnych Polska - Licencja ta zezwala na rozpowszechnianie, przedstawianie i wykonywanie utworu jedynie w celach niekomercyjnych oraz pod warunkiem zachowania go w oryginalnej postaci (nie tworzenia utworów zależnych).



UNIWERSYTET ŚLĄSKI
W KATOWICACH



Biblioteka
Uniwersytetu Śląskiego



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

Martyna A. Rzętała

Wybrane przemiany geomorfologiczne
mis zbiorników wodnych
i ocena zanieczyszczeń osadów zbiornikowych
w warunkach zróżnicowanej antropopresji
(na przykładzie regionu górnośląsko-zagłębiowskiego)



WYDAWNICTWO
UNIwersytetu Śląskiego
KATOWICE 2014

Wybrane przemiany geomorfologiczne
nis zbiorników wodnych
i ocena zanieczyszczeń osadów zbiornikowych
w warunkach zróżnicowanej antropopresji
(na przykładzie regionu górnośląsko-zagłębiowskiego)



NR 3210

Martyna A. Rzętała

Wybrane przemiany geomorfologiczne
mis zbiorników wodnych
i ocena zanieczyszczeń osadów zbiornikowych
w warunkach zróżnicowanej antropopresji
(na przykładzie regionu górnośląsko-zagłębiowskiego)

Redaktor serii: Nauki o Ziemi
Mariusz Rzeżała

Recenzent
Adam Łajczak

Spis treści

1. Wstęp	7
1.1. Zarys problemu badawczego	7
1.2. Obszar badań	10
1.3. Cele, materiały źródłowe i metody badań	12
2. Geneza oraz cechy morfo- i hydrometryczne zbiorników wodnych	19
3. Uwarunkowania zmian ilościowo-jakościowych w morfologii mis zbiornikowych	27
3.1. Uwarunkowania przyrodnicze	27
3.1.1. Uwarunkowania geologiczne i litologiczne	27
3.1.2. Uwarunkowania geomorfologiczne	34
3.1.3. Uwarunkowania klimatyczne i meteorologiczne	39
3.1.4. Uwarunkowania hydrologiczne	41
3.1.5. Uwarunkowania glebowe i biogeniczne	46
3.2. Uwarunkowania społeczno-gospodarcze	51
4. Geomorfologiczne zmiany mis zbiornikowych	61
4.1. Sedymentacja w strefie kontaktu wód rzecznych i zbiornikowych	61
4.2. Przestrzenne zróżnicowanie występowania osadów dennych	69
4.2.1. Miąższość i kubatura osadów	69
4.2.2. Skład mechaniczny osadów	74
4.2.3. Skład i właściwości fizykochemiczne osadów	76
4.3. Modelowanie strefy brzegowej — zapis w osadach i formach terenu	91
4.3.1. Klify	91
4.3.2. Terasy	94
4.3.3. Mikrozatoki	97
4.3.4. Plaże	98
4.3.5. Cyple piaszczyste (kosy)	101
4.3.6. Mierzeje	103
4.3.7. Wały brzegowe	105
4.3.8. Pozostałe rodzaje form brzegowych	108

5. Geomorfologiczne problemy funkcjonowania mis antropogenicznych zbiorników wodnych — omówienie wyników badań	111
5.1. Przejawy samoczyszczania wód w procesie tworzenia form deltowych	111
5.2. Rola sedimentacji w kształtowaniu rzeźby mis zbiornikowych	113
5.3. Formy brzegowe jako indyktor przemian geomorfologicznych w strefie litoralnej.	120
5.4. Osady dennie jako indyktor zanieczyszczenia zbiorników wodnych	130
5.5. Próba oszacowania żywotności zbiorników wodnych	140
6. Podsumowanie i wnioski	145
Wykaz fotografii	151
Wykaz tabel	153
Literatura	155
Summary	169

1. Wstęp

1.1. Zarys problemu badawczego

Pojawienie się w krajobrazie antropogenicznych zbiorników wodnych powoduje wiele konsekwencji w środowisku przyrodniczym i życiu społeczno-gospodarczym regionów, w których zostały one utworzone. Ekwiwalentem zmian środowiskowych powodowanych przez nowe akweny są zjawiska i procesy niewystępujące wcześniej na danym obszarze, np.: powstanie nowych basenów sedymentacyjnych, rozwój procesów brzegowych, zmiany topoklimatyczne, zabagnienia, zmiany reżimu cieków, przemiany składu gatunkowego roślinności i zwierząt (Kamiński i in., 2003). Skutki utworzenia i funkcjonowania zbiorników wodnych utożsamiane są również z transformacją struktury społeczno-gospodarczej w ich otoczeniu (Jackowski, 1984; Głodek, 1985). Szczególną uwagę zwraca się na negatywne i niezamierzone skutki funkcjonowania sztucznych zbiorników wodnych (np. podtopienia, eutrofizację, abrazję, zamulanie, niekontrolowane zagospodarowanie wybrzeży), bowiem mają one bezpośredni związek z utratą walorów użytkowych i estetycznych otoczenia oraz kształtowaniem stref nieużytków.

Funkcjonowanie zbiorników wodnych pod względem geomorfologicznym niesie ze sobą wiele konsekwencji środowiskowych. Już samo pojawienie się zbiorników wodnych powoduje zmiany lokalnej bazy erozyjnej i prowadzi do aktywizacji nowych jakościowo procesów morfogenetycznych. Z chwilą utworzenia zbiornika wodnego rozpoczyna się proces spontanicznej reakcji przyrody na antropogenezację rzeźby. Przemiany geomorfologiczne dotyczą każdego elementu zagłębienia retencjonującego wodę. Modelowaniu geomorfologicznemu ulega strefa kontaktu wód rzecznych i jeziornych (Rzętała i in., 2009). W wyniku procesów sedymentacyjnych zmienia się konfiguracja dna (Rzętała, 2003; Machowski i in., 2008). Przeobrażeniu ulegają również — definiowane przez S. Musielaka (1997) i P. Migonia (2006) — strefa brzegowa (ze stale zatopionym podbrzeżem oraz położonymi w strefie wahań stanów wody brzegami dolnym i górnym), a nawet nadbrzeże znajdujące się poza zasięgiem falowania. Wyniki badań prowadzonych w ostatnich latach sugeru-

ją dużo większe tempo przemian geomorfologicznych mis sztucznych zbiorników wodnych (Łajczak, 1995; Rzętała, 2003; Grobelska, 2006), w porównaniu do jezior jako obiektów naturalnych i zbiorników występujących na terenach pozbawionych silnych oddziaływań antropogenicznych. Różne też jest znaczenie przyrodnicze i społeczno-gospodarcze przemian geomorfologicznych w obrębie zbiorników wodnych, co w dużej mierze wynika z istnienia zróżnicowanych uwarunkowań środowiskowych ich występowania.

Ogrom dokonań badawczych w dziedzinach geomorfologii i hydrologii jezior nie zmienia faktu, że problematyka przemian geomorfologicznych zbiorników antropogenicznych w literaturze geograficznej traktowana jest raczej marginalnie, a większym zainteresowaniem poznawczym cieszą się tylko akweny największe, z reguły o dużym znaczeniu gospodarczym. Wynika to z analizy treści podsumowań badawczych realizowanych z różną intensywnością od I połowy XX wieku, które traktują przede wszystkim o geomorfologicznej ewolucji jezior, sygnalizując co najwyżej problematykę przemian geomorfologicznych zbiorników antropogenicznych (Klimaszewski, 1978; Nowaczyk, 1988; Choiński, 1995, 2007; Tobolski, 1995; Łajczak, 1995; Bird, Charles, 2000; Verstraeten i in., 2006).

Zmiany geomorfologii mis jezior antropogenicznych dotyczą szerokiego spektrum interdyscyplinarnych i komplementarnych badań środowiska geograficznego (Banach, 1994; Łajczak, 1995; Rzętała, 2003; Verstraeten i in., 2006). Najwięcej prac poświęcono problematyce osadów dennych, nieco mniej — procesom brzegowym oraz strefie kontaktu wód rzecznych i jeziornych.

Spośród wszystkich form świadczących o przemianach geomorfologicznych, zachodzących w obrębie zbiorników wodnych, delty są najbardziej wyrazistym rezultatem sedymentacji i sedentacji w strefie kontaktu wód rzecznych i jeziornych. Tym niemniej, raczej rzadko były one przedmiotem kompleksowego rozpoznania. Opisywane w literaturze badania nad formowaniem form deltowych były zwykle skoncentrowane na analizie procesów erozyjnych i sedymentacyjnych zazwyczaj dużych delt, formowanych w strefach ujściowych rzek do mórz i oceanów, np. delty Nilu (Stanley, 1996), Huang He i Jangcy (Liu i in., 2010; Saito i in., 2001), Missisipi (Day i in., 2005) czy Dunaju (Stanica i in., 2007). Porównywalne zainteresowanie badawcze dotyczy dużych delt tworzonych w jeziorach, np. delta Selengi u wschodnich wybrzeży Bajkału (Romashkin, Williams, 1997). Rzadko spotyka się prace na temat delt tworzonych w zbiornikach śródlądowych (Cyberski, 1969; Badora, 2005; Łajczak, 2006; Rzętała i in., 2009) — analizom poddawane są zazwyczaj całościowe pokrywy osadów dennych w kontekście zamulania zbiorników (Karnaukhova, 2011; Verstraeten i in., 2006) lub akumulacji zanieczyszczeń w osadach (Roach, 2005; Jaguś i in., 2012). W Polsce zainteresowaniu temu odpowiadają jedynie badania delty Wisły (Kowalik, 2001; Drwal, 2002) oraz delt w obrębie Zalewu Szczecińskiego (Wiśniewski, Wolski, 2005), chociaż nie są one związane z typowym środowiskiem limnicznym. Wiele uwagi poświęcone zostało deltom w zbiornikach wodnych na obszarach o wyraźnej rzeźbie erozyjnej (Chomiak i in., 1969; Klimek i in., 1989, 1990; Łajczak, 1995, 2006) — dotyczy to zwłaszcza Zbiornika Rożnowskiego na Dunajcu. Coraz większe zainteresowanie dotyczy również zamu-

lania Zbiornika Czorsztyńskiego, gdzie u ujścia głównego dopływu powstała delta i funkcjonuje zakład eksploatacji kruszywa wydobywanego w strefie cofki. W regionie górnośląsko-zagłębiowskim przedmiotem dotychczasowego zainteresowania badawczego było kilka delt i stref rozległej akumulacji w zbiornikach wodnych (Rzetała, 2003, 2014a; Rzetała i in., 2009).

Rozwój badań nad procesami brzegowymi w obrębie sztucznych zbiorników wodnych towarzyszy powstawaniu takich akwenów, a jego bazą są metody wypracowane przy okazji wcześniej prowadzonych badań nad ewolucją jezior, jako naturalnych elementów środowiska przyrodniczego. Jak stwierdza A. Jaguś (2004), wyrażona intensyfikacja badań dynamiki strefy brzegowej akwenów limnicznych w Polsce rozpoczęła się w latach 70. XX wieku i objęła przede wszystkim geosystemy coraz liczniejszych sztucznych jezior. Zakres i specyfika rozważań były bardzo różnorodne. Najwięcej badań dotyczyło problemu abrazji brzegów i rozpoznaniu procesów akumulacyjnych w strefie brzegowej (np. Pasternak, 1964; Cyberski, 1965; Kieraś i in., 1973; Kostecki, 1975; Dąbkowski, 1978; Rydzik, 1978; Pluta, Rydzik, 1982; Ziętara, 1994, 1995; Banach, 1993a; Grobelska, 2001, 2002, 2006). Rezultatem postępowania badawczego były (niejednokrotnie) typologie brzegów zbiorników antropogenicznych (np. Mazur, 1975; Rydzik, 1978; Korotaj, 1990; Banach, 1994; Rzetała, 1994; Jaguś, 2000; Dulias, Rudnicka, 2000). Duże znaczenie dla tematyki rozpatrującej morfologiczne przemiany mis retencjonujących wody stojące mają wieloletnie badania prowadzone na zbiorniku Włocławek (Banach, 1977, 1981, 1986, 1988, 1992, 1995; Wysokiński, 1980; Wysokiński, Korotaj, 1981; Korotaj, 1990; Babiński, Banach, 1992; Gierszewski, 1988), których wyniki, wraz z wcześniejszymi dokonaniami publikacyjnymi, zostały zebrane przez M. Banacha (1994) w uznawanej za pierwszą w polskiej literaturze geograficznej próbę kompleksowego określenia procesu ewolucji całej strefy brzegowej sztucznego zbiornika wodnego. Z czasem badaniami procesów brzegowych objęte zostały inne zbiorniki antropogeniczne w Polsce: Dzierżno Duże (Rzetała, 1998), Poraj (Jaguś, 2000), Pakoski (Grobelska, 2006), Klimkówka (Wiejaczka, 2008). O zagranicznym podobnym lub większym zainteresowaniu badawczym problematyką przemian geomorfologicznych strefy brzegowej zbiorników antropogenicznych świadczą chociażby wyniki badań publikowanych w odniesieniu do zbiorników syberyjskich (Owczinnikow, 1996; Owczinnikow i in., 1999; Owczinnikow i in., 2002; Kozyreva i in., 2004).

Literatura dotycząca badań geomorfologicznych osadów dennych w zbiornikach antropogenicznych jest dużo uboższa w porównaniu do zasobu informacji na temat jeziornych osadów dennych. Materiał zdeponowany w obrębie mis zbiorników antropogenicznych najczęściej jest wykorzystywany w ocenach ilościowo-jakościowych ich wypełniania (Chomiak i in., 1969; Banach, 1993a; Łajczak, 1995, 2003, 2006; Verstraeten i in., 2006), niejednokrotnie służąc jako wskaźnik oddziaływań antropogenicznych w kształtowaniu denudacji (Fernex i in., 2001; Bakoariniaina i in., 2006; Dulias, 2013). Zbiornikowe osady denne mają ograniczone znaczenie w analizach historycznej ewolucji akwenów w związku z krótkim czasem ich funkcjonowania i podobną przydatność w szacowaniu żywotności obiektów, lecz zdecydowanie częściej są przedmiotem dociekań naukowych prowadzonych pod kątem kumulacji

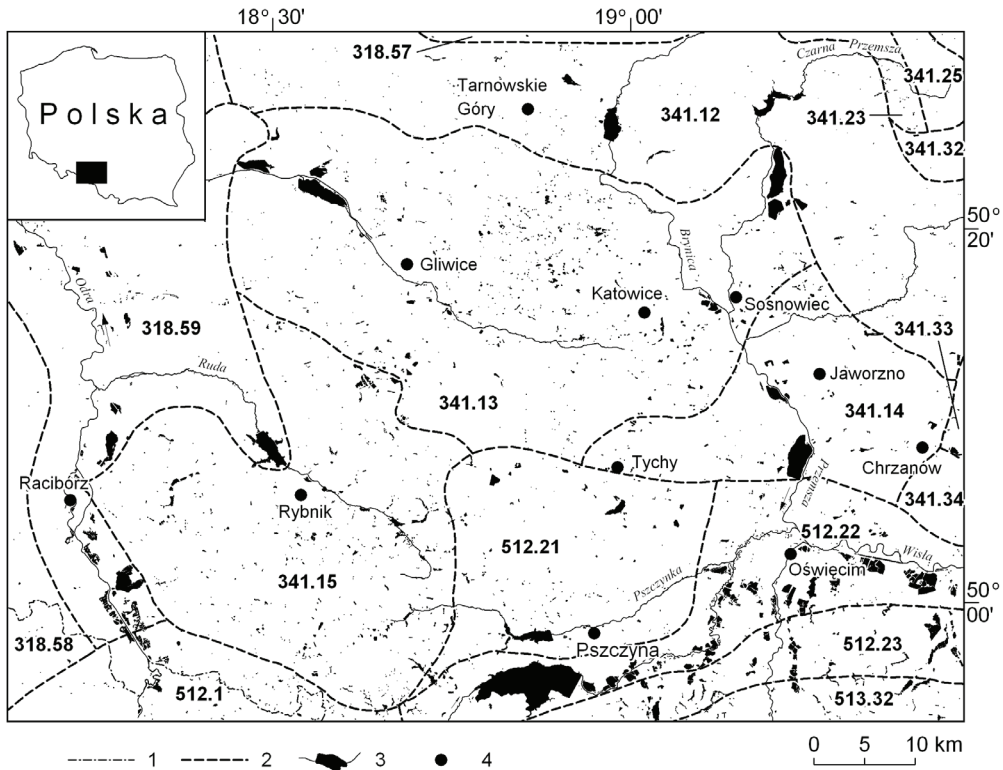
w nich zanieczyszczeń (Rzętała, 2003, 2008; Kostecki, 2003). Jeszcze innym aspektem funkcjonowania osadów dennych w zbiornikach antropogenicznych jest ich traktowanie jako materiału o określonej przydatności gospodarczej (Rzętała i in., 2009).

Z poczynionego przeglądu stanu geomorfologicznych badań mis zbiorników antropogenicznych wynika, że problem ich przemian geomorfologicznych nie był dotychczas rozpatrywany kompleksowo, co stało się przesłanką motywującą do podjęcia badań nad zagadnieniem w odniesieniu do zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego. Na tle dotychczas analizowanych pod względem geomorfologicznym akwenów wód stojących w Polsce, stosunkowo nowymi obiektami badawczymi są misy sztucznych zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim, tym bardziej istotnymi dla światowego dorobku geomorfologicznego, że jest to obszar wręcz modelowego wpływu człowieka na warunki przyrodnicze. Jednocześnie region górnośląsko-zagłębiowski jest postrzegany jako najbardziej antropogenicznie przeobrażony obszar Polski, mimo poprawy stanu środowiska w ostatnich latach. Taki stan środowiska stwarza możliwość przeprowadzenia — w pewnym sensie unikatowych — badań nad przemianami geomorfologicznymi mis zbiorników wodnych w warunkach zróżnicowanej antropopresji, np. miejskiej, przemysłowej, rolniczej.

1.2. Obszar badań

Badane zbiorniki wodne znajdują się na obszarze tzw. regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (rys. 1), który pod względem historyczno-etnograficznym w części zachodniej zalicza się do Górnego Śląska, a w części wschodniej — do zachodniej Małopolski. Pod względem fizycznogeograficznym obejmuje on Wyżynę Śląską (341.1) oraz sąsiadujące z nią części Kotliny Oświęcimskiej (512.2) i Niziny Śląskiej (518.5), a także fragmenty kilku innych makroregionów, np. Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej (341.1), Kotliny Ostrawskiej (512.1). Obszar badań obejmuje tereny położone między doliną Odry na zachodzie, po Dąbrowę Górniczą i Jaworzno na wschodzie oraz od okolic Tarnowskich Gór i Siewierza na północy, po dolinę Wisły na południu. Do niedawna obszar ten był postrzegany przez pryzmat znaczenia przemysłowego, którego rangę podkreślało wydzielenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego i Rybnickiego Okręgu Węglowego. Jest to teren uznawany za najbardziej antropogenicznie przeobrażony obszar Polski, który współcześnie utracił przemysłowe znaczenie na rzecz dynamicznie rozwijającego się sektora usług.

Region górnośląsko-zagłębiowski jest obszarem, na którym zwłaszcza w ostatnich kilkudziesięciu latach powstało kilka tysięcy zbiorników wodnych. Region ten pod względem liczby zbiorników wodnych i ich zróżnicowania (morfo- i hydrogenetycznego, morfometrycznego, miktycznego, troficznego, funkcjonalnego) jest wyjątkowym w skali Polski, Europy, a nawet świata „pojezierzem antropogenicznym”



Rys. 1. Obszar badań na tle jednostek fizycznogeograficznych Wyżyny Śląskiej (341.1) i makroregionów sąsiednich, tj. Kotliny Oświęcimskiej (512.2), Niziny Śląskiej (318.5), Wyżyny Woźnicko-Wieluńskiej (341.2), Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej (341.3), Kotliny Ostrawskiej (512.1) i Pogórza Zachodniobeskidzkiego (513.3) (wg: Mapa hydrograficzna, 1994, 2000, 2001, 2002, 2003):

1 – granica państwa, 2 – granice mezoregionów (318.57 – Równina Opolska, 318.58 – Płaskowyż Głubczycki, 318.59 – Kotlina Raciborska, 341.12 – Garb Tarnogórski, 341.13 – Wyżyna Katowicka, 341.14 – Pagóry Jaworznickie, 341.15 – Płaskowyż Rybnicki, 341.23 – Próg Woźnicki, 341.25 – Obniżenie Górnej Warty, 341.32 – Wyżyna Olkuska, 341.33 – Rów Krzeszowicki, 341.34 – Garb Tenczyński, 512.21 – Równina Pszczyńska, 512.22 – Dolina Górnej Wisły, 512.23 – Pogórze Wilanowickie, 513.32 – Pogórze Śląskie), 3 – ciek i zbiorniki wodne, 4 – ważniejsze miejscowości.

Fig. 1. Study area against the background of physiogeographical units of the Silesian Upland (341.1) and of the adjacent macroregions, i.e. the Oświęcim Basin (512.2), the Silesian Lowland (318.5), the Woźniki-Wieluń Upland (341.2), the Kraków-Częstochowa Upland (341.3), the Ostrava Basin (512.1) and West Beskid Foothills (513.3) (after Mapa hydrograficzna 1994, 2000, 2001, 2002, 2003):

1 – state border, 2 – mesoregion boundaries (318.57 – Opole Plain, 318.58 – Głubczyce Plateau, 318.59 – Racibórz Basin, 341.12 – Tarnowskie Góry Hummock, 341.13 – Katowice Upland, 341.14 – Jaworzno Hills, 341.15 – Rybnik Plateau, 341.23 – Woźniki Sill, 341.25 – Upper Warta Depression, 341.32 – Olkusz Upland, 341.33 – Krzeszowice Trench, 341.34 – Tenczyn Hummock, 512.21 – Pszczyzna Plain, 512.22 – Upper Vistula Valley, 512.23 – Wilanowice Foothills, 513.32 – Silesian Foothills); 3 – watercourses and water bodies; 4 – major towns and villages.

(Jankowski, Rzętała, 2004; Rzętała, 2008; Rzętała, Jaguś, 2012). Są to zbiorniki o różnej genezie: zaporowe, poeksploatacyjne, w nieckach osiadania, groblowe i wiele innych.

Badane zbiorniki wodne regionu górnośląsko-zagłębiowskiego w zdecydowanej przewadze znajdują się w granicach wydzielonej przez J. Kondrackiego (1994) Wy-

zyny Śląskiej (341.1), trzy kolejne (Pławniowice, Wielikat, Łęczczok) występują na Nizinie Śląskiej, a zbiorniki Harmężę, Paprocany i Łąka należą do Kotliny Oświęcimskiej (512.2).

1.3. Cele, materiały źródłowe i metody badań

Biorąc pod uwagę unikatowość obszaru w dużym stopniu przeobrażonego antropogenicznie i reprezentatywność obiektów badawczych, sprecyzowano cele badań, do których należą:

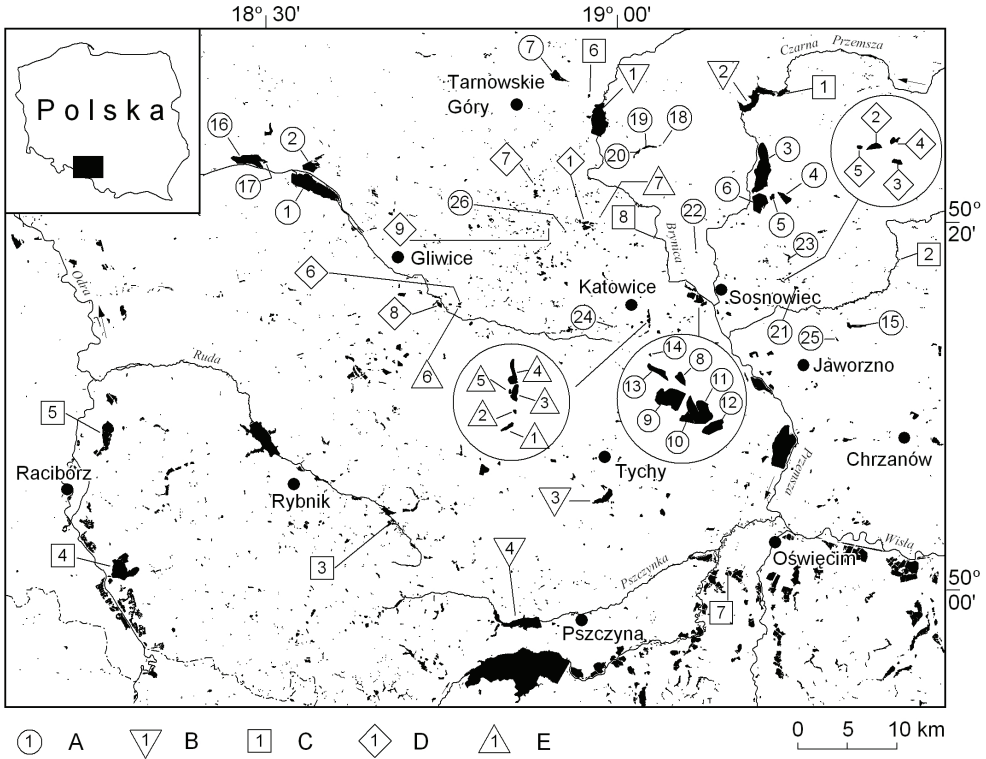
- ocena uwarunkowań przemian geomorfologicznych mis zbiorników wodnych w warunkach zróżnicowanej antropopresji (np. miejskiej, przemysłowej, rolniczej),
- charakterystyka form i osadów dokumentujących przemiany geomorfologiczne w obrębie mis zbiorników wodnych jako spontanicznej reakcji przyrody na proces antropogenizacji rzeźby,
- określenie wpływu zróżnicowanej antropopresji na występowanie, skład mechaniczny i chemiczny, a także podstawowe właściwości fizykochemiczne osadów dennych i brzegowych w zbiornikach wodnych,
- ustalenie zależności między morfologiczną ewolucją mis zbiorników wodnych w warunkach zróżnicowanej antropopresji a funkcjonalnościami przyrodniczą oraz gospodarczą akwenów i ich obrzeży,
- określenie stopnia geomorfologicznej specyfiki mis zbiorników wodnych funkcjonujących w warunkach zróżnicowanej antropopresji na tle jezior i zbiorników wodnych występujących w obszarach pozbawionych wpływów antropogenicznych.

W badaniach geomorfologicznych przemian mis sztucznych zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim wykorzystane zostały następujące materiały źródłowe:

- informacje pochodzące z publikowanych materiałów naukowych (artykułów, publikacji zwartych, opracowań kartograficznych) oraz opracowań na prawach maszynopisu — materiały objęte kwerendą biblioteczną,
- niepublikowane dane pochodzące z zasobu informacji instytucjonalnych, tj. Ośrodka Badań i Kontroli Środowiska (OBIKŚ) w Katowicach, Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej (RZGW) w Gliwicach, Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) w Warszawie i Katowicach, Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów (GPW) w Katowicach,
- wyniki własnych badań terenowych, laboratoryjnych i kameralnych.

Badania terenowe, laboratoryjne i kameralne prowadzono z różną intensywnością od końca lat 90. XX wieku do 2013 roku, z wykorzystaniem wielu opracowań metodycznych, np.: W. Matuszkiewicza (1981), B. Dobrzańskiego i in. (1987), E. Bajkiewicz-Grabowskiej i in. (1993), L. Lindnera (1992), W. Lange (1993), E. Myczyńskiej-Dowgiałło i J. Rutkowskiego (1995), P. Migonia (2006), Klasyfikacja

zasobów... (2003) i innych. Badaniami objęto kilkadziesiąt zbiorników wodnych położonych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim (rys. 2). Zbiorniki te pod względem genetycznym należą do: poeksploatacyjnych, zaporowych, groblowych, w nieckach osiadania, basenów różnego typu (w tym cechujących się poligenezą).



Rys. 2. Lokalizacja badanych zbiorników wodnych:

A – zbiorniki poeksploatacyjne (1 – Dzierżno Duże, 2 – Dzierżno Małe, 3 – Kuźnica Wareżyńska, 4 – Pogoria I, 5 – Pogoria II, 6 – Pogoria III, 7 – Chechło, 8 – Stawiki, 9 – Morawa, 10 – Hubertus I, 11 – Gliniak, 12 – Hubertus II, 13 – Borki, 14 – Borki Małe, 15 – Sosina, 16 – Pławniowice, 17 – Mały Zalew, 18 – Rogoźnik (wschodni), 19 – Rogoźnik I (środkowy), 20 – Rogoźnik (zachodni), 21 – Balaton, 22 – Czeladź Norwida, 23 – Kazimierz, 24 – Gliniak, 25 – Koparki, 26 – Amendy); **B** – zbiorniki zaporowe (1 – Kozłowa Góra, 2 – Przeczyce, 3 – Rybnicki, 4 – Łąka na Pszczyńce); **C** – zbiorniki groblowe (1 – stawy u ujścia Mitręgi do Czarnej Przemszy, 2 – Sławków, 3 – Kradziejówka, 4 – Wielikąt, 5 – Łęczok, 6 – Ostrożnica, 7 – Harmże, 8 – Przetok); **D** – zbiorniki w nieckach osiadania i zapadliskach (1 – Żabie Doły, 2 – Bobrek – rozlewisko, 3 – Pekin – misa S, 4 – Pekin – misa E, 5 – Pekin – misa W, 6 – Makoszowy Niecka, 7 – Przy Leśnej, 8 – Sośnica, 9 – Szombierki); **E** – zbiorniki poligenetyczne (1 – Milicyjny, 2 – Mały, 3 – Kajakowy, 4 – Łąka, 5 – Ozdobny, 6 – Makoszowy Las, 7 – Brzeziny).

Fig. 2. Location of the water bodies examined:

A – flooded mineral workings (1 – Dzierżno Duże, 2 – Dzierżno Małe, 3 – Kuźnica Wareżyńska, 4 – Pogoria I, 5 – Pogoria II, 6 – Pogoria III, 7 – Chechło, 8 – Stawiki, 9 – Morawa, 10 – Hubertus I, 11 – Gliniak, 12 – Hubertus II, 13 – Borki, 14 – Borki Małe, 15 – Sosina, 16 – Pławniowice, 17 – Mały Zalew, 18 – Rogoźnik (east), 19 – Rogoźnik I (middle), 20 – Rogoźnik (west), 21 – Balaton, 22 – Czeladź Norwida, 23 – Kazimierz, 24 – Gliniak, 25 – Koparki, 26 – Amendy); **B** – reservoirs impounded by dams (1 – Kozłowa Góra, 2 – Przeczyce, 3 – Rybnicki, 4 – Łąka na Pszczyńce); **C** – levee ponds (1 – ponds at the location where the Mitręga River enters the Czarna Przemsza River, 2 – Sławków, 3 – Kradziejówka, 4 – Wielikąt, 5 – Łęczok, 6 – Ostrożnica, 7 – Harmże, 8 – Przetok); **D** – water bodies in subsidence basins and hollows (1 – Żabie Doły, 2 – Bobrek Stream – inundated area, 3 – Pekin – S basin, 4 – Pekin – E basin, 5 – Pekin – W basin, 6 – Makoszowy Niecka, 7 – Przy Leśnej, 8 – Sośnica, 9 – Szombierki); **E** – water bodies with multiple origins (1 – Milicyjny, 2 – Mały, 3 – Kajakowy, 4 – Łąka, 5 – Ozdobny, 6 – Makoszowy Las, 7 – Brzeziny).

Prace badawcze związane z terenowym rozpoznaniem przemian geomorfologicznych mis zbiorników wodnych, obejmowały:

- pomiary hydrometryczne przepływu wody młynkami typu He-ga zgodnie z algorytmem metody rachunkowej (sporadycznie pomiary wykonywane były metodami pływakową i wolumetryczną),
- pomiary podstawowych właściwości hydrochemicznych wody (temperatura, pH, tlen, przewodność elektrolityczna, potencjał redox, zasolenie, substancje rozpuszczone, substancje biogenne, chlorofil) z wykorzystaniem termometrów tyrystorowych, termometrów elektronicznych, pH-metrów, konduktometrów i tlenomierzy firmy Elmetron oraz mierników wieloparametrowych firmy YSI,
- pomiary przezroczystości wody krążkiem Secchiego,
- pobór próbek osadów brzegowych i reprezentatywnych dla podłoża i otoczenia misy z wykorzystaniem narzędzi prostych i próbników rurowych,
- pobór próbek osadów dennych za pomocą ręcznego próbnika rurowego, próbników van Veana o pojemności 0,125 dm³ lub 0,250 dm³ oraz próbnika osadów nieskonsolidowanych typu Beeker w wersji 04.20.S.A. firmy Eijkelkamp (część poboru próbek wykonana przez zespoły nurków),
- szacunki wielkości transportu rumowiska w elementach zabudowy hydrotechnicznej (modyfikowanych w zależności od potrzeb),
- rozpoznanie florystyczne włącznie z poborem próbek okazów roślin oraz materiału roślinnego z pól badawczych o wymiarach 25 × 25 cm do polietylenowych pojemników,
- wagowe pomiary osadów i materiału roślinnego terenową, podwieszaną wagą elektroniczną,
- dokumentację fotograficzną,
- rozpoznanie batymetryczne oraz wykonanie niwelacyjnych ciągów geodezyjnych ukształtowania brzegów i pomiarów sytuacyjno-wysokościowych form w strefie litoralnej, z użyciem tachymetru Dahlta 020, echosondy Ultra III 3D z przetwornikiem prędkości oraz odbiornika GPS (Garmin — 12, Mio DigiWalker 168 ze zintegrowanym modulem GPS i AutoMapą XL).

W laboratoryjnej części badań geomorfologicznych przemian mis zbiorników antropogenicznych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego określono:

- wagę suchej masy materiału roślinnego,
- skład mechaniczny osadów metodami sitową i sitowo-areometryczną,
- zawartość materii organicznej w osadach przez stratę wagową podczas prażenia,
- ilość zawiesiny w wodzie po przesączeniu próby o objętości 1 litra i wysuszeniu osadu metodą wagową,
- pH osadu w KCl oraz wyciągu wodnego, zawartość węgla organicznego i węgla wapnia (wg Dobrzański i in., 1987),
- skład podstawowy osadów i zawartość w nich pierwiastków śladowych metodami spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP), rentgenowskiej analizy fluorescencyjnej (XRF) oraz instrumentalnej neutronowej analizy ak-

tywacyjnej (INAA), którą zastosowano także do oznaczenia mikroelementów w tkankach roślin.

Oznaczenia w osadach zawartości SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , S, Ba, Sr, Zr, Y i V dokonywano metodą atomowej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP) — odpowiednio przygotowana próbka o masie 0,2 g była stapiana z metaboranem litu, a następnie rozpuszczana w 15% HNO_3 i analizowana metodą ICP. Metodą ICP oznaczano także zawartości Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Cd i Bi po całkowitym rozpuszczeniu próbek o masie 0,25 g, które były rozkładane w 10 ml $\text{HCl-HNO}_3\text{-HClO}_4\text{-HF}$, w temperaturze 200°C i rozcieńczane do 10 ml w rozcieńczonej mieszaninie HNO_3 i HCl . Precyzję i dokładność analiz wykonanych na spektrometrach JARRELL ASH model Enviro i PERKIN ELMER model 6000 określają następujące poziomy: a) na poziomie granicy wykrywalności: $\pm 100\%$; b) na poziomie 10-krotnej granicy wykrywalności: $\pm 15\text{—}20\%$; c) na poziomie 100-krotnej granicy wykrywalności: lepsza od 10%.

Zawartość w osadach As, Br, Co, Cr, Hf, Rb, Sb, Sc, Th, U, La, Ce, Nd, Sm i Eu określano metodą instrumentalnej neutronowej analizy aktywacyjnej (INAA) — aparaturę stanowił reaktor badawczy 2MW Pool Type (strumień neutronów termicznych $5 \times 10^{11} \text{ n cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; pomiar promieniowania gamma przez detektory Ge ORTEC i CANBERRA typowo po 7 dniach od napromieniowania). Precyzję i dokładność analiz wykonanych z wykorzystaniem odpowiednio przygotowanej naważki (1 g) określają następujące poziomy: a) na poziomie granicy wykrywalności: $\pm 100\%$; b) na poziomie 10-krotnej granicy wykrywalności: $\pm 10\text{—}15\%$; c) na poziomie 100-krotnej granicy wykrywalności: lepsza od 5%

Metodę rentgenowskiej analizy fluorescencyjnej do oznaczenia zawartości Rb wykorzystano w próbkach osadu o masie 6 g sprasowanych w pastylki z alkoholem poliwinylowym jako substancją wiążącą. Precyzję i dokładność analiz wykonanych na spektrometrze PHILIPS model PW — 1450 określają następujące poziomy: a) na poziomie granicy wykrywalności: $\pm 100\%$; b) na poziomie 10-krotnej granicy wykrywalności: $\pm 10\text{—}15\%$; c) na poziomie 100-krotnej granicy wykrywalności: $\pm 5\%$.

Poziomy oznaczalności dla straty prażenia oraz większości tlenków w osadach wynosiły 0,01% z wyjątkiem TiO_2 , dla którego wartość ta wynosi 0,005%. Dla S w osadach granicę wykrywalności stanowi 0,001%. Zawartość 0,1 mg/kg to dolna granica wykrywalności w osadach dla Sc, Sm i Eu, natomiast 0,2 mg/kg dotyczy Sb i La. Poziom wykrywalności 0,5 mg/kg dotyczył pierwiastków: Ag, Cd, Cs, Th, Hf i U. Dla Cu, Co, Ni, Zn, Y, Br, Co, Cr wynosił on 1 mg/kg. Dla As, Cr, Sr, Zr, As i Rb dolna granica wykrywalności wynosiła 2 mg/kg, natomiast dla Ba i Ce było to 3 mg/kg, a dla Pb, V i Nd — 5 mg/kg. Dolna granica wykrywalności mikroelementów w tkankach roślin wynosiła: 0,005% dla Fe, 0,01% dla K i Ca, 0,005 mg/kg dla Sb, 0,01 mg/kg dla La, As i Br, 0,05 mg/kg dla Mo, 0,1 mg/kg dla Co, 0,3 mg/kg dla Cr, 1 mg/kg dla Na i Rb, 2 mg/kg dla Zn, 5 mg/kg dla Ba.

Spśród ważniejszych badań kameralnych należy wymienić: kwerendę biblioteczną (z uwzględnieniem baz bibliotecznych i elektronicznych), kwerendę archiwalną, analizę opracowań kartograficznych (map: hydrograficznych, sozologicznych, to-

pograficznych, zdjęć lotniczych i ortofotomap itd.), obróbkę kartograficzną szkiców sytuacyjno-wysokościowych, opracowania batymetryczne, obróbkę kartograficzną materiału wizualizacyjnego. Opracowanie graficzne wykonano z użyciem programów komputerowych: Surfer, Word, MapInfo, Corel Draw, a obliczenia prowadzono w programach: Framework, Excel, Statistica. Obróbka statystyczna materiału liczbowego obejmowała powszechnie stosowane zagadnienia: korelacja i regresja, współczynniki determinacji, mediana, kwartyle, odchylenie standardowe, współczynnik korelacji. Zastosowano również trzy formuły wspierające analizy geomorfologiczne. Ocenę stopnia zanieczyszczenia osadów dennych pierwiastkami śladowymi (w tym toksycznymi metalami) przeprowadzono z wykorzystaniem indeksu geoakumulacyjnego opracowanego przez G. Müllera (1969) oraz zaproponowanych dwóch nowych formuł (Rzętała, 2014b, 2014c): wskaźnika krotności przekroczenia tła geochemicznego i wskaźnika wzbogacenia antropogenicznego osadów dennych.

Indeks geoakumulacyjny ma sześć klas różnicujących jakość osadu — od praktycznie niezanieczyszczonego ($I_{geo} \leq 0,0$), po ekstremalnie zanieczyszczony ($5,0 < I_{geo}$) ze stanami pośrednimi jakości osadu, definiowanymi jako (Choiński i in., 2010): od niezanieczyszczony do umiarkowanie zanieczyszczony ($0,0 < I_{geo} < 1,0$), umiarkowanie zanieczyszczony ($1,0 < I_{geo} < 2,0$), od umiarkowanie do silnie zanieczyszczony ($2,0 < I_{geo} < 3,0$), silnie zanieczyszczony ($3,0 < I_{geo} < 4,0$), od silnie do ekstremalnie zanieczyszczony ($4,0 < I_{geo} < 5,0$).

$$I_{geo} = \log_{10} \frac{C_n}{1.5B_n}$$

gdzie:

- I_{geo} — indeks geoakumulacyjny,
- C_n — stężenie danego metalu w osadzie dennym,
- B_n — tło geochemiczne danego metalu,
- 1.5 — współczynnik wyrażający naturalne wahania zawartości danego metalu w środowisku.

Koncentrację substancji w osadach dennych, w odniesieniu do poziomów uznawanych za naturalne, można oceniać, stosując prosty wskaźnik krotności przekroczenia tła geochemicznego, który jednocześnie pośrednio świadczy o poziomie zanieczyszczenia. Zaproponowana nowa formuła lepiej odzwierciedla specyfikę występowania różnych substancji na terenach odkształconych antropogenicznie niż stosowany dotychczas indeks geoakumulacyjny (I_{geo}), opracowany przez G. Müllera (1969), i wprost określa krotność przekroczenia tła geochemicznego, a przyjmuje postać opisaną wzorem (Rzętała, 2014b, 2014c):

$$I_{RE} = \frac{C_{BS}}{C_{GB}}$$

gdzie:

- I_{RE} — wskaźnik przekroczenia tła geochemicznego (wartość niemianowana),
- C_{BS} — średnie stężenie pierwiastka w osadach dennych,
- C_{GB} — poziom tła geochemicznego dla pierwiastka w osadach dennych.

Tak obliczony wskaźnik krotności przekroczenia tła geochemicznego (I_{RE}) przyjmuje wartość powyżej jedności tym wyższą, im wyższe jest stężenie pierwiastka od tła geochemicznego i poniżej jedności, gdy poziom ten nie jest osiągnięty.

Do porównania stężenia substancji w osadach dennych i osadach podłoża wykorzystano wskaźnik wzbogacenia antropogenicznego osadów dennych, który wynika ze skuteczności akumulacyjnej materii w zbiorniku, niejednokrotnie utożsamianej z zanieczyszczeniem. Wskaźnik ten przyjmuje postać (Rzętała, 2014b, 2014c):

$$I_{AP} = \frac{C_{BS}}{C_{SR}},$$

gdzie:

- I_{AP} — wskaźnik wzbogacenia antropogenicznego osadów dennych (wartość niemianowana),
- C_{BS} — średnia zawartość pierwiastka w osadach dennych zbiornika,
- C_{SR} — średnia zawartość pierwiastka w osadach podłoża i otoczenia misy.

Tak obliczony wskaźnik wzbogacenia antropogenicznego osadów dennych (I_{AP}) przyjmuje wartość poniżej 1,0, jeśli stężenie pierwiastka w osadach jest niższe od jego stężenia w utworach otoczenia misy i powyżej 1,0, im wyższe jest stężenie pierwiastka w osadach dennych od stężenia w utworach otoczenia misy.

Obliczenia przybliżonego czasu funkcjonowania zbiorników wodnych do ich całkowitego wypełnienia osadami przeprowadzone zostały przy założeniu prostoliniowego przebiegu zamulania zbiorników, na podstawie zaproponowanej, autorskiej formuły, przyjmującej postać:

$$ATO_{WR} = \frac{V_I}{H_{BS} * A_{WR} * t^{-1}},$$

gdzie:

- ATO_{WR} — przybliżony czas funkcjonowania zbiornika wodnego w tys. lat,
- V_I — pojemność początkowa zbiornika wodnego w mln m³,
- H_{BS} — średnia miąższość osadów dennych w milimetrach,
- A_{WR} — powierzchnia zbiornika wodnego w km²,
- t — dotychczasowy okres eksploatacji zbiornika wodnego w latach.

Tak obliczony wskaźnik przybliżonego czasu funkcjonowania zbiorników wodnych, oparty na dotychczasowym wypełnieniu mis osadami jest alternatywą dla innych formuł oceny wypłykania wymienianych przez W.N. Gonczarowa (1962), J. Stonawskiego (Badania..., 1989), A. Łajczaka (1995), M.A. Rzętałę (2003), które dodatkowo uwzględniają krzywoliniowy przebieg zamulania. Umożliwiają one określenie czasu żywotności akwenów na podstawie zależności między przepływem dopływów powierzchniowych a ilością transportowanego rumowiska, lecz znajdują one ograniczone zastosowanie dla terenów o zróżnicowanym oddziaływaniu antropopresji (Łajczak, 1986, 1995, Rzętała, 2003).

2. Geneza oraz cechy morfo- i hydrometryczne zbiorników wodnych

W regionie górnośląsko-zagłębiowskim zbiorniki naturalne występują niezwykle rzadko. Jest to między innymi konsekwencją krasowiejącego podłoża na części obszaru, staroglacjalnego charakteru rzeźby i szeroko rozumianej jej antropogenizacji. Zdecydowanie dominują wypełnione wodą misy o charakterze antropogenicznym. Do ich powstania, w sposób pośredni bądź bezpośredni, przyczyniła się działalność człowieka. Zbiorniki wybrane do badań reprezentują różne typy genetyczne akwenów. Są to zbiorniki wodne: poeksploatacyjne, zaporowe i groblowe, w nieckach z osiadania oraz poligenetyczne (tab. 1).

Zbiorniki poeksploatacyjne (rys. 3) są w regionie licznie reprezentowane, a zostały utworzone w wyrobiskach po powierzchniowej eksploatacji surowców mineralnych. Ich morfometria nawiązuje do kształtu misy jeziornej warunkowanej układem dna i krawędzi dawnego pola eksploatacyjnego, co najwyżej zmodyfikowanego w okresie przygotowania zagłębienia do zatopienia. Zazwyczaj ich dominującą, morfometryczną cechą są wysoka wartość średnich głębokości w zestawieniu z głębokością maksymalną, co jest rezultatem dużego nachylenia ścian odkrywki oraz płaskodenności formy wklęsłej (Rzętała, 2008). Pośród badanych poeksploatacyjnych zbiorników wodnych zdecydowana większość to zbiorniki popiaskowe, dwa powstały w rezultacie eksploatacji skał węglanowych (Koparki, Amendy), a jeden (Gliniok) powstał w zagłębieniu po wydobyciu łożysk.

Zbiorniki zaporowe w regionie górnośląsko-zagłębiowskim są nieliczne, a największe występują na obrzeżach jego zurbanizowanych i uprzemysłowionych terenów (rys. 4). Powstały one w rezultacie przegrodzenia dolin rzecznych wybudowanymi zaporami. Zbiorniki zaporowe mają precyzyjnie zaplanowane funkcje już na etapie budowy. W przeszłości miały niewielkie możliwości retencyjne, zapewniające pracę tartaków, młynów wodnych itp. Współcześnie są to najczęściej obiekty o dużych możliwościach magazynowania wody i wielofunkcyjnym wykorzystaniu (Kasza, 2009). Cechą charakterystyczną zbiorników zaporowych jest rozkład głębokości, nawiązujący do spadków podłużnych i poprzecznych zatopionej doliny,

Tabela 1. Parametry morfo- i hydrometryczne zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim objętych badaniami geomorfologicznymi
 Table 1. Morpho- and hydrometric parameters of the water bodies in the Upper Silesia-Dabrowa Basin region covered by geomorphological studies

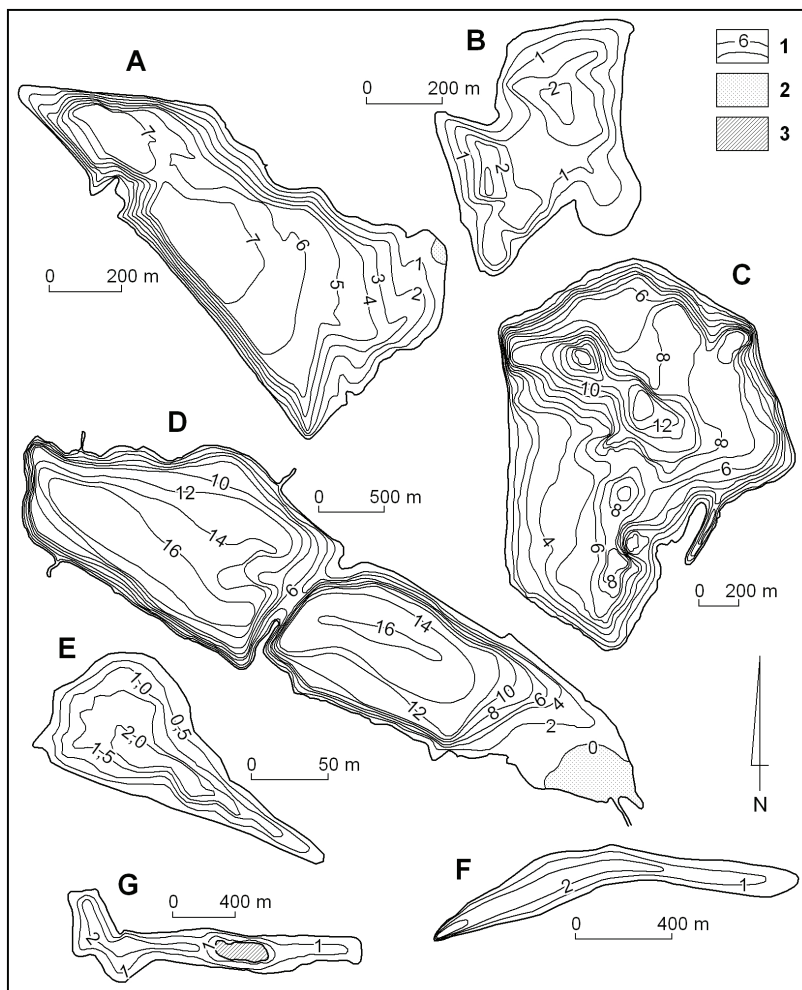
Nazwa zbiornika wodnego Water body name	Współrzędne geograficzne Geographical coordinates		Rok utworzenia Year of creation	Pojemność całkowita Total capacity [dm ³]	Powierzchnia maksymalna Maximum area [ha]	Przewodność elektryczna Electrolytic conductivity [μS/cm]	Azotany (NO ₃) Nitrites (NO ₂)	Fosforany (PO ₄ ³⁻) Phosphates (PO ₄ ³⁻)
	Długość geograficzna Longitude	Szerokość geograficzna Latitude						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Poeksploatacyjne / Flooded mineral workings								
Dzierżno Duże	50° 22' 24.00'' N	18° 33' 25.00'' E	1964	94 000	561,0	5 632,0	19,5	1,56
Dzierżno Małe	50° 23' 16.30'' N	18° 33' 51.10'' E	1938	12 600	160,0	679,0	36,3	0,13
Pławniowice	50° 23' 29.23'' N	18° 28' 08.00'' E	1970	29 100	240,0	617,0	8,0	0,06
Pogoria I	50° 21' 27.00'' N	19° 14' 15.00'' E	1943	3 600	75,0	736,0	37,4	0,02
Pogoria II	50° 21' 28.22'' N	19° 13' 13.50'' E	1977	500	26,0	628,5	42,2	0,02
Pogoria III	50° 21' 13.11'' N	19° 12' 05.00'' E	1974	12 000	208,0	483,0	39,4	0,03
Kuźnica Wąreżyńska	50° 22' 38.10'' N	19° 12' 06.00'' E	2005	51 200	540,0	458,0	21,3	0,01
Chechło	50° 28' 04.00'' N	18° 54' 49.10'' E	1970	1 300	90,0	183,0	1,0	0,01
Stawiki	50° 16' 25.56'' N	19° 06' 35.59'' E	1955	131	7,6	784,5	26,0	0,09
Morawa	50° 16' 24.56'' N	19° 07' 19.57'' E	1965	693	34,7	380,0	37,8	3,49
Hubertus I	50° 15' 46.37'' N	19° 06' 41.59'' E	1928	142	6,7	1102,0	21,0	0,14
Gliniak	50° 15' 53.55'' N	19° 07' 00.54'' E	1928	824	38,7	512,1	2,2	0,06
Hubertus II	50° 15' 37.59'' N	19° 07' 23.27'' E	1928	140	6,7	1 65,0	6,6	—
Borki	50° 16' 30.01'' N	19° 06' 06.99'' E	1965	202	12,0	311	2,2	—
Borki Małe	50° 16' 42.91'' N	19° 05' 49.36'' E	1965	11	1,1	372,3	12,8	0,05
Sosina	50° 14' 27.00'' N	19° 19' 50.05'' E	1977	1 000	50,0	547,4	28,5	1,12
Mały Zalew	50° 23' 20.45'' N	18° 29' 55.77'' E	1970	143	6,5	488,0	20,5	4,11
Rogoźnik (wschodni)	50° 24' 17.23'' N	19° 03' 37.39'' E	—	9	0,9	699,5	27,3	0,07

I	2	3	4	5	6	7	8	9
Rogoźnik (środkowy)	50° 24' 13.40'' N	19° 02' 40.03'' E	1975	340	25,0	651,0	22,9	0,07
Rogoźnik (zachodni)	50° 23' 54.59'' N	19° 01' 43.58'' E	1975	360	12,1	644,0	12,8	0,09
Balaton	50° 16' 31.21'' N	19° 15' 11.16'' E	1939	71	9,0	535,5	21,1	0,08
Czelaź Norwida	50° 18' 28.10'' N	19° 06' 45.13'' E	1965	89	1,0	685,2	18,5	1,85
Kazimierz	50° 17' 17.26'' N	19° 14' 40.44'' E	1920	82	4,1	571,0	1,1	1,20
Gliniok	50° 14' 25.49'' N	18° 59' 33.22'' E	—	769	1,7	7520,0	10,1	—
Koparki	50° 13' 42.52'' N	19° 18' 40.77'' E	1999	440	4,0	707,0	4,5	—
Amendy	50° 19' 36.20'' N	18° 55' 35.09'' E	—	21	1,3	341,0	—	—
Zaporowe i groblowe / Reservoirs impounded by dams and embankments								
Kozłowa Góra	50° 25' 46.87'' N	18° 58' 22.20'' E	1938	15300	587,0	344,7	21,9	0,06
Przezyce	50° 26' 30.56'' N	19° 11' 33.55'' E	1963	20700	510,0	362,0	12,2	0,07
Paprocany	50° 05' 05.59'' N	18° 59' 02.22'' E	1870	1600	110,0	315,0	1,2	0,11
Łąka	49° 58' 21.00'' N	18° 52' 26.20'' E	1986	11200	352,0	564,0	10,2	0,38
Przezyce — stawy	50° 27' 04.31'' N	19° 14' 00.00'' E	lata 60. XX w./1960*	163	40,7	401,0	48,6	1,00
Ślawków	50° 18' 03.11'' N	19° 24' 02.59'' E	pocz. XX w./early 20 th century	12	2,4	888,0	4,2	—
Kradziejówka	50° 03' 40.00'' N	18° 40' 42.55'' E	II poł. XIX w./second half of the 19 th century*	72	18,0	889,1	20,0	3,31
Wielikąt	50° 00' 44.59'' N	18° 17' 34.53'' E	II poł. XIX w./second half of the 19 th century*	1424	356,0	887,8	16,4	0,52
Łęczczok	50° 08' 26.15'' N	18° 16' 37.57'' E	II poł. XIX w./second half of the 19 th century*	948	237,0	447,3	10,2	0,11
Ostrożnica	50° 26' 58.35'' N	19° 57' 37.20'' E	II poł. XIX w./second half of the 19 th century*	22	4,0	233,0	12,6	0,16
Harmęże	50° 00' 59.00'' N	19° 09' 17.13'' E	II poł. XX w./second half of the 19 th century*	123	30,7	482,0	41,1	0,12
Przetok	50° 19' 18.05'' N	19° 03' 08.35'' E	1946	20	1,0	683,7	27,2	0,95

1	2	3	4	5	6	7	8	9
W nieckach osiadania / Water bodies in subsidence basins								
Żabie Doly	50° 21' 49.54'' N	18° 57' 29.46'' E	I poł. XX w./first half of the 20 th century	200	25,0	1 476,7	21,2	0,05
Bobrek — rozlewisko	50° 16' 59.65'' N	19° 13' 52.00'' E	lata 60. XX w./1960s	5	1,8	1 941,7	9,0	0,77
Pekin — misa S	50° 16' 50.38'' N	19° 14' 11.44'' E	połowa XX w./Mid-20 th century	7	0,2	3 022,0	62,2	5,82
Pekin — misa E	50° 17' 02.44'' N	19° 14' 05.59'' E	połowa XX w./Mid-20 th century	1	0,8	1 326,0	0,9	0,07
Pekin — misa W	50° 16' 58.55'' N	19° 13' 36.07'' E	połowa XX w./Mid-20 th century	6	0,4	649,5	16,1	1,05
Makoszowy Niecka	50° 15' 40.00'' N	18° 46' 37.00'' E	lata 70. XX w./1970s	65	5,4	2 888,2	32,2	0,07
Przy Leśnej	50° 22' 10.13'' N	19° 52' 59.01'' E	lata 70. XX w./1970s	2	0,3	3 222,0	11,4	1,10
Sośnica	50° 15' 49.00'' N	19° 44' 40.59'' E	I poł. XX w./first half of the 20 th century	179	11,2	3 658,0	6,2	0,08
Szombierki	50° 19' 59.49'' N	18° 54' 11.33'' E	—	9	4,0	7 095,2	21,1	1,71
Poligenetyczne / Water bodies with multiple origins								
Milicyjny	50° 14' 07.58'' N	19° 02' 31.56'' E	1920	43	4,7	730,0	5,1	0,09
Mały	50° 14' 25.57'' N	19° 02' 42.59'' E	1920	9	1,0	689,0	11,6	0,09
Kajakowy	50° 14' 45.00'' N	19° 02' 43.00'' E	1920	250	10,2	716,1	20,7	0,09
Łąka	50° 15' 00.58'' N	19° 02' 42.00'' E	1920	290	12,7	774,5	19,1	0,12
Ozdobny	50° 14' 46.29'' N	19° 02' 34.24'' E	1920	6	1,2	401,0	3,8	0,06
Makoszowy Las	50° 15' 30.09'' N	18° 46' 35.59'' E	lata 70. XX w./1970s	29	1,9	700,1	4,2	0,05
Brzeziny	50° 20' 24.58'' N	18° 58' 31.57'' E	I poł. XX w./first half of the 20 th century	10	1,0	3 092,4	29,3	5,10

Objaśnienia: *) uwzględniono okres funkcjonowania zbiornika od ostatniej przebudowy i zmian zasięgu misy zbiornikowej; (—) — brak danych.

Explanation: *) take into account the lifetime of the tank since the last remodeling and changes within the water body basin; (—) — no data.



Rys. 3. Plany batymetryczne poeksploatacyjnych zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim:

A – Pogoria I (wg: Rzętała i in., 2002), B – Pogoria II (wg: Jaguś, Rzętała, 2008), C – Pogoria III (wg: Rzętała i in., 2002), D – Dzierżno Duże (Rzętała, 2000), E – Czeladź Norwida (Rzętała, 2012), F – Rogoźnik I (Rzętała, 2008), G – Sosina (Rzętała, 2008); 1 – izobaty w metrach, 2 – delty, 3 – wyspy.

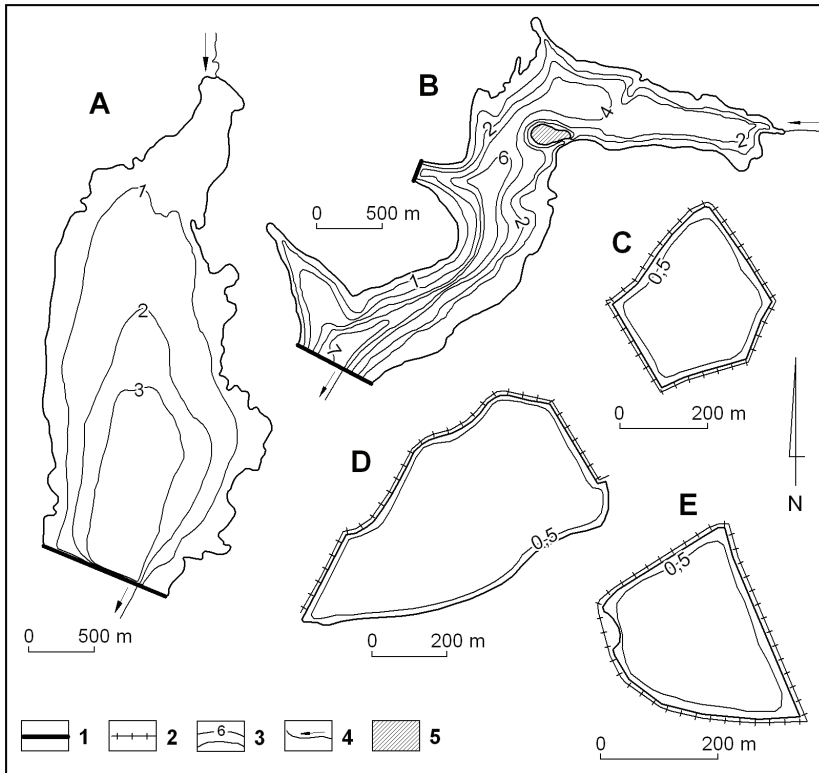
Fig. 3. Bathymetric plans of flooded mineral workings in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region:

A – Pogoria I (after Rzętała et al. 2002), B – Pogoria II (after Jaguś, Rzętała 2008), C – Pogoria III (after Rzętała et al. 2002), D – Dzierżno Duże (Rzętała 2000), E – Czeladź Norwida (Rzętała 2012), F – Rogoźnik I (Rzętała 2008), G – Sosina (Rzętała 2008); 1 – isobaths in metres, 2 – deltas, 3 – islands.

z minimum przy brzegach sąsiadujących z jej zboczami oraz w strefie cofki i maksimum w części zbiornika przy odwodnej stronie zapory (Rzętała, 2008). W grupie obiektów objętych badaniami geomorfologicznymi akweny zaporowe reprezentują zbiorniki: Kozłowa Góra, Przeczyce i Paprocany.

Dużym podobieństwem do zbiorników zaporowych charakteryzują się zbiorniki groblowe, pomimo odrębności morfometrycznych i eksploatacyjnych oraz różnic

między zaporą a groblą (rys. 4). Charakterystyczną cechą zbiorników groblowych jest ich płaskodenność, wynikająca z niewielkiego zróżnicowania pionowego zajmowanych przez nie obszarów inundacyjnych oraz niewielka głębokość warunkowana wysokością grobli ograniczających akwen, co przekłada się na zbliżone do jedności wartości wskaźników głębokościowych (Rzętała, 2008). O odmienności eksploatacyjnej świadczy przede wszystkim różnica w gospodarowaniu wodą, która w przypadku zbiorników groblowych determinowana jest przebiegiem cyklu hodowlanego. Tę grupę akwenów reprezentuje w badaniach geomorfologicznych zespół 8 kompleksów zbiorników groblowych, położonych w różnych częściach regionu górnośląsko-zagłębiowskiego.



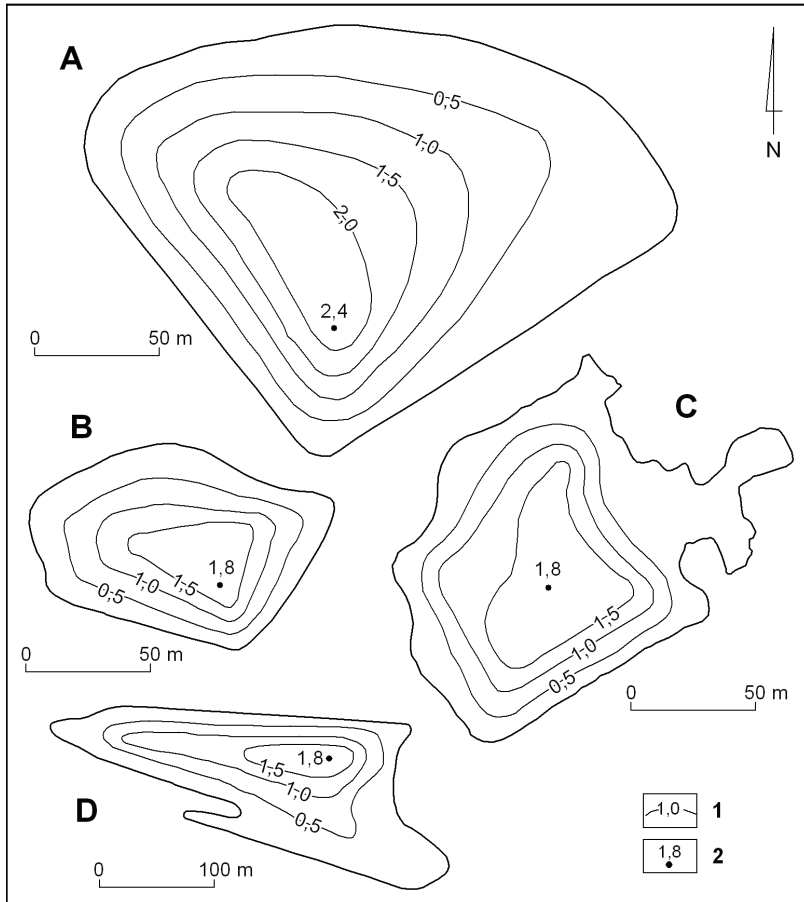
Rys. 4. Plany batymetryczne zaporowych (A–B) i groblowych (C–E) zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim:

A – Kozłowa Góra, B – Przeczyce, C – staw w Kuźnicy Sulikowskiej, D – staw u ujścia Mitręgi do Czarnej Przemszy, E – staw w Harmężu; 1 – zapory, 2 – groble, 3 – izobaty w metrach, 4 – ciekii powierzchniowe, 5 – wyspy.

Fig. 4. Bathymetric plans of reservoirs impounded by dams (A–B) and levee ponds (C–E) in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region:

A – Kozłowa Góra, B – Przeczyce, C – pond at Kuźnica Sulikowska, D – pond at the location where the Mitręga River enters the Czarna Przemsza River, E – pond at Harmężu; 1 – dams, 2 – embankments, 3 – isobaths in metres, 4 – watercourses, 5 – islands.

Badaniami geomorfologicznymi objęto także kilka zbiorników w nieckach osiadania. Powstają one jako niezamierzony efekt podziemnej działalności górniczej. Zbiorniki te zajmują najniższe położone części terenu w strefie osiadania, które powodowane jest zawalaniem podziemnych wyrobisk i ugięciami nadkładu. Jak podaje M. Rzętała (2008), strefy osiadań i zapadlisk górniczych pod względem hydrologicznym — w zależności od podłoża i sytuacji hipsometrycznej — stanowią bezodpływowe chłonne bądź ewapotranspiracyjne baseny retencyjno-sedymentacyjne lub zagłębienia zmieniające dotychczasowy profil podłużny doliny rzecznej w zbiorniki reolimniczne (rys. 5). Pod wzglę-



Rys. 5. Plany batymetryczne zbiorników w nieckach osiadania w regionie górnośląsko-zagłębiowskim (wg: Machowski, 2010):

A – zbiornik północny w kompleksie stawów Żabie Doły, **B** – zbiornik wschodni w niecce osiadania w Sosnowcu Klimontowie, **C** – zbiornik północny w niecce osiadania w Sosnowcu-Klimontowie, **D** – zbiornik Makoszowy Niecka; 1 – izobaty w metrach, 2 – głębokość maksymalna.

Fig. 5. Bathymetric plans of water bodies in subsidence basins in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (after Machowski 2010):

A – northern water body in the Żabie Doły pond complex, **B** – eastern water body in the subsidence basin in Sosnowiec Klimontów, **C** – northern water body in the subsidence basin in Sosnowiec-Klimontów, **D** – Makoszowy Niecka water body; 1 – isobaths in metres, 2 – maximum depth.

dem gospodarczym zbiorniki w nieckach osiadania najczęściej są nieużytkami m.in. z powodu ciągłości procesów deformacyjnych podłoża, niewielkiej powierzchni i pojemności oraz często umownie złej jakości retencjonowanej wody (Jankowski i in. 2001).

Pod względem przemian geomorfologicznych mis zbiorników wodnych prowadzono również badania w zbiornikach poligenetycznych. W tym przypadku trudno wyodrębnić jeden czynnik sprawczy powstania misy. Tak jest w przypadku zbiorników wodnych w zlewni Potoku Leśnego (Milicyjny, Mały, Kajakowy, Łąka, Ozdobny) lub śródleśnego zbiornika w Makoszowach, które są akwenami poeksploatacyjnymi, dodatkowo intensywnie modelowanymi przez procesy osiadania. Podobnie w przypadku zbiornika w Brzezinach można mówić o poligenizie wynikającej z ukształtowania basenu o zmiennej w czasie funkcjonalności, przy jednoczesnym przeobrażaniu misy w trakcie przemysłowej działalności produkcyjnej.

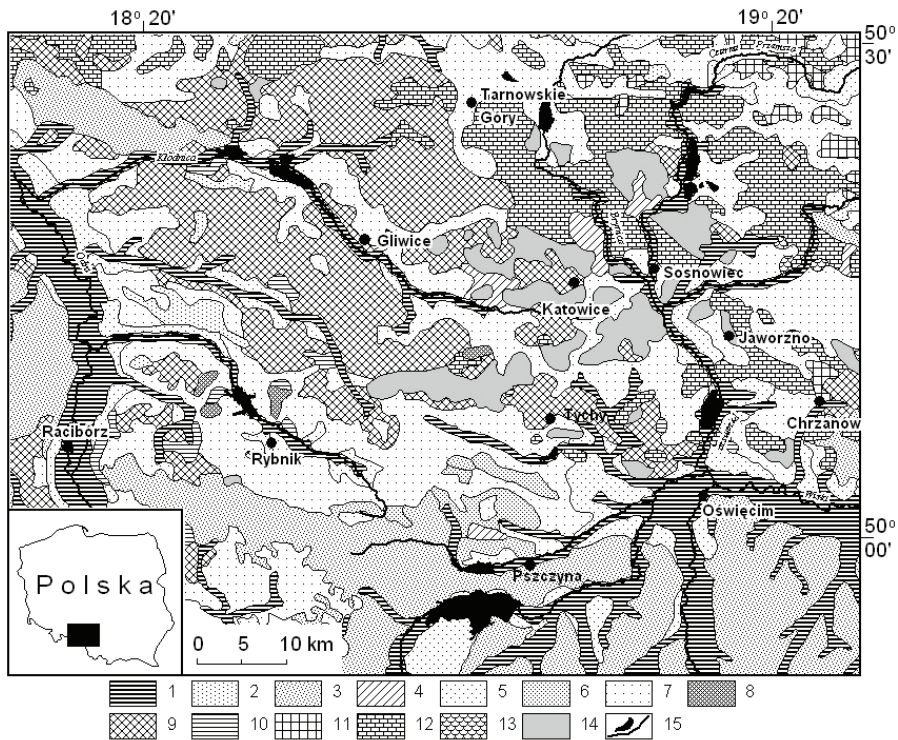
3. Uwarunkowania zmian ilościowo-jakościowych w morfologii mis zbiornikowych

3.1. Uwarunkowania przyrodnicze

Spiętrzenie wód w dolinach rzek regionu górnośląsko-zagłębiowskiego doprowadziło do aktywizacji nowych jakościowo procesów morfogenetycznych, które wcześniej na tym obszarze nie występowały z taką intensywnością, jak obecnie lub nie pojawiały się wcale. Decyduje o tym wiele uwarunkowań i czynników, np. występowanie w dolinach utworów o dużej podatności na abrazję, niewielkie nachylenie zboczy dolin i duże nachylenie krawędzi poeksploatacyjnych wyrobisk wypełnionych wodą, reolimniczność akwenów, falowanie sięgające kilkudziesięciu centymetrów wysokości, cykliczne zmiany poziomów piętrzenia wody o amplitudzie do 10 m.

3.1.1. Uwarunkowania geologiczne i litologiczne

Funkcjonowanie zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim, ogólnie rzecz ujmując, jest kojarzone z utworami kilku jednostek geologiczno-strukturalnych (rys. 6). W centralnej części regionu podłożem mis zbiornikowych są utwory karbońskie nieckowatego Zapadliska Górnośląskiego. Są one pofałdowane, z licznymi uskokami, a zawierając pokłady węgla kamiennego, podlegają wielowiekowej eksploatacji. Utwory karbońskie, zwłaszcza na obrzeżach zapadliska, przykrywają nadległe osady triasowe, a miejscami trzeciorzędowe oraz dość powszechnie nieciągłe pokrywy osadów czwartorzędowych (Bukowy, 1974; Lewandowski, 1982). Na południe od regionu górnośląsko-zagłębiowskiego występuje Zapadlisko Przedkarpackie. Ma ono charakter tektonicznego obniżenia, które wypełnione jest



Rys. 6. Zróżnicowanie utworów powierzchniowych obszaru badań (wg: Mapa geologiczna Polski..., 2006):

1 – piaski, żwiry, mady rzeczne oraz torfy i namuly (holocen), 2 – piaski eoliczne, lokalnie w wydmach (czwartorzęd), 3 – lessy, lessy piaszczyste i pyły lessopodobne (czwartorzęd), 4 – gliny, piaski i gliny z rumoszami, soliflukcyjno-deluwialne (plejstocen), 5 – piaski, żwiry i mułki rzeczne (plejstocen), 6 – ily, mułki i piaski zastoiszkowe (plejstocen), 7 – piaski i żwiry sandrowe (plejstocen), 8 – żwiry, piaski, glazy i gliny moren czołowych (plejstocen), 9 – gliny zwalowe, ich zwierzeliny oraz piaski i żwiry lodowcowe (plejstocen), 10 – wapienie organodetrytyczne, siarkonośne, żwiry, ily, mułki, piaski, miejscami gips i węgiel brunatny (neogen), 11 – wapienie, margle, dolomity, mułowce, piaskowce, iłowce, z krzemieniami i wkładkami syderytów (jura), 12 – iłowce, mułowce, piaskowce, wapienie, dolomity, margle, wapienie oolitowe, gipsy, anhydryty, rudy żelaza (trias), 13 – zlepińce, piaskowce arkozowe, mułowce, iłowce (perm), 14 – piaskowce, zlepińce, iłowce, mułowce, szaroglazy, węgiel kamienny (karbon), 15 – ciek i zbiorniki wodne.

Fig. 6. Different surface formations present in the study area (after Mapa geologiczna Polski... 2006):

1 – sands, gravels, alluvial soils, peats and silts (Holocene), 2 – eolian sands, locally in dunes (Quaternary), 3 – loesses, sandy loesses and loess-like silts (Quaternary), 4 – solifluctive-deluvial clays, sands and clays with grass (Pleistocene), 5 – fluvial sands, gravels and loams (Pleistocene), 6 – marginal clays, loams and sands (Pleistocene), 7 – outwash sands and gravels (Pleistocene), 8 – end moraine gravels, sands, boulders and clays (Pleistocene), 9 – boulder clays, boulder clay waste and glacial sands and gravels (Pleistocene), 10 – organodetritic limestones, sulfur-bearing limestones, gravels, clays, loams, sands, locally gypsum and lignite (Neogene), 11 – limestones, marls, dolomites, mudstones, sandstones, claystones, with flints and siderite insertions (Jurassic), 12 – claystones, mudstones, sandstones, limestones, dolomites, marls, oolitic limestones, gypsum, anhydrites, iron ores (Triassic), 13 – conglomerates, arkosic sandstones, mudstones, claystones (Permian), 14 – sandstones, conglomerates, claystones, mudstones, greywackes, hard coal (Carboniferous), 15 – watercourses and water bodies.

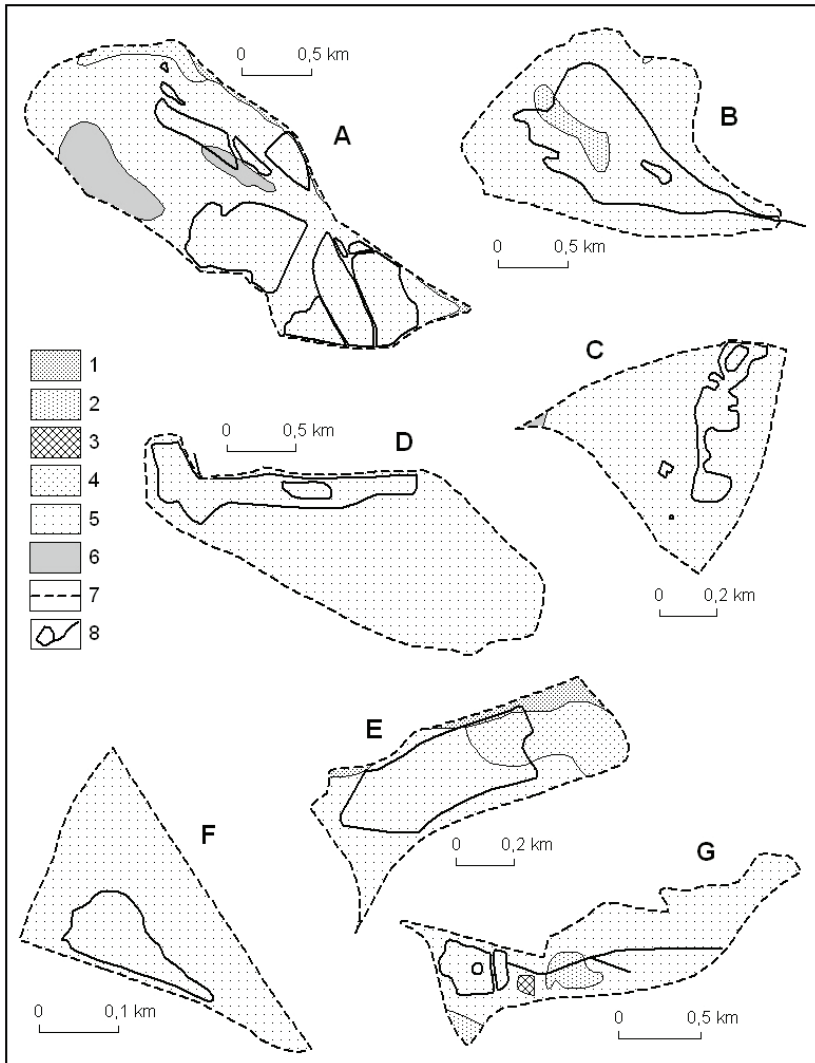
osadami mioceńskimi (iły, piaskowce, zlepieńce, łupki, lokalnie z pokładami soli) oraz nadległymi czwartorzędowymi lessowymi pokrywami pyłowymi, piaskami rzecznyymi i lodowcowymi, a także glinami zwałowymi (Gilewska, 1972). Północno-wschodnią część regionu zajmuje Monoklina Krakowsko-Wieluńska z utworami triasowymi, jurajskimi i kredowymi, które zalegają na podłożu paleozoicznym, a przykryte są miejscami pokrywami osadów czwartorzędowych (Bukowy, 1974).

Wobec ogólnego zróżnicowania utworów powierzchniowych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego, podłoże jednorodne litologicznie zdecydowanie częściej dotyczy zbiorników wodnych o niewielkich zlewniach. Jest to związane z mniejszym prawdopodobieństwem występowania zróżnicowanych litologicznie utworów w niewielkiej powierzchniowo zlewni. Przykładowo, można wspomnieć o zlewniach zbiorników: Balaton, Chechło, Czeladź Norwida, Kazimierz, a także położonych na pograniczu Sosnowca, Katowic i Mysłowic (rys. 7). Powierzchnia zlewni tych zbiorników zwykle jest niewielka i wynosi od kilku ha do kilku km².

Zbiorniki wodne, których zlewnie mają powierzchnię kilku, kilkudziesięciu, a zwłaszcza kilkuset km² zwykle cechują się nieco odmiennymi uwarunkowaniami przemian geomorfologicznych. Zlewnie te charakteryzuje dużo większe zróżnicowanie pod względem występowania utworów powierzchniowych. Dotyczy to zasadniczo różnych zbiorników, niezależnie od genezy (rys. 8—10).

Związek budowy geologicznej i litologii z funkcjonowaniem zbiorników wodnych ma również aspekt antropogeniczny. Wynika to z geomechanicznych odkształceń górotworu, towarzyszących wielkoskalowym przedsięwzięciom budowlanym czy też wielowiekowej eksploatacji surowców mineralnych metodami odkrywkowymi i podziemnymi — rudy cynku i ołowiu oraz żelaza eksploatowano już we wczesnym średniowieczu, a węgiel kamienny — od XVIII wieku (Żmuda, 1973; Kondracki, 1998). Rudy żelaza obecnie nie są już eksploatowane, ale dalej wydobywa się: węgiel kamienny, rudy cynku i ołowiu, piasek, żwir, dolomity itd.

Górnictwo podziemne jest przyczyną transportu na powierzchnię nie tylko surowców mineralnych, ale także skały płonnej i wód pompowanych na powierzchnię terenu w wyniku odwadniania eksploatowanych złóż. W procesie uzdatniania kopaliny wydobytej ze złoża powstają odpady wydobywcze i przeróbcze, które pozostają na powierzchni i ulegają powierzchniowemu rozprzestrzenieniu (m.in. w postaci rumowiska rzeczno). Dochodzi więc do specyficznej transpozycji utworów geologicznych z głębokich warstw na powierzchnię terenu, która masowo występuje w regionie o wieloletnich tradycjach górniczych. Tym samym w przemianach geomorfologicznych zbiorników wodnych uczestniczą nie tylko utwory powierzchniowe, lecz także starszego podłoża (rys. 11).

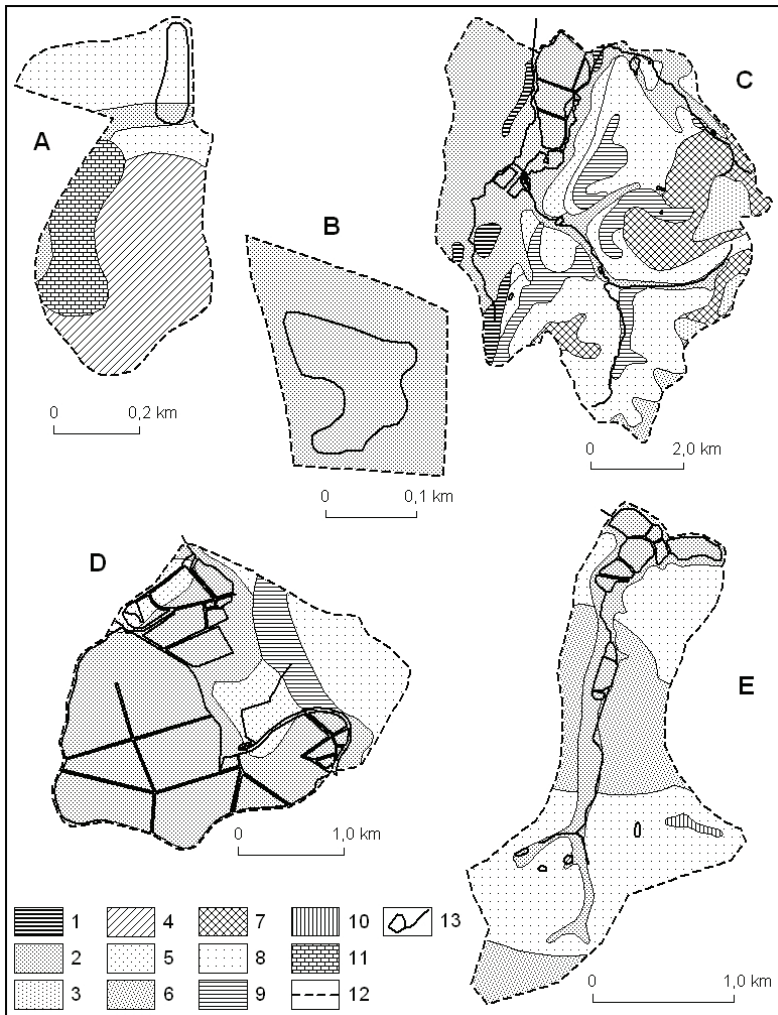


Rys. 7. Przykład zbiorników wodnych o misach usytuowanych w utworach czwartorzędowych (wg: Szczegółowa mapa geologiczna..., 1955, 1956, 1999):

1 – osady rzeczne w ogólności (holocen), 2 – piaski eoliczne w wydmach (czwartorzęd), 3 – glina zwałowa (plejstocen), 4 – piaski i żwiry tarasów akumulacyjnych (plejstocen), 5 – piaski oraz żwiry lodowcowe i wodnolodowcowe (plejstocen), 6 – warstwy rudzkie – piaskowce, łupki, zlepieńce, węgiel (karbon górny), 7 – granice zlewni zbiorników, 8 – ciek i zbiorniki wodne (A – zbiorniki u ujścia Rawy do Brynicy, B – zbiornik Chechło, C – zbiornik Kazimierz, D – zbiornik Sosina, E – zbiornik Hubertus II, F – zbiornik Czeladź Norwida, G – zbiornik Balaton).

Fig. 7. Examples of water bodies with basins located in Quaternary formations (after Szczegółowa mapa geologiczna... 1955, 1956, 1999):

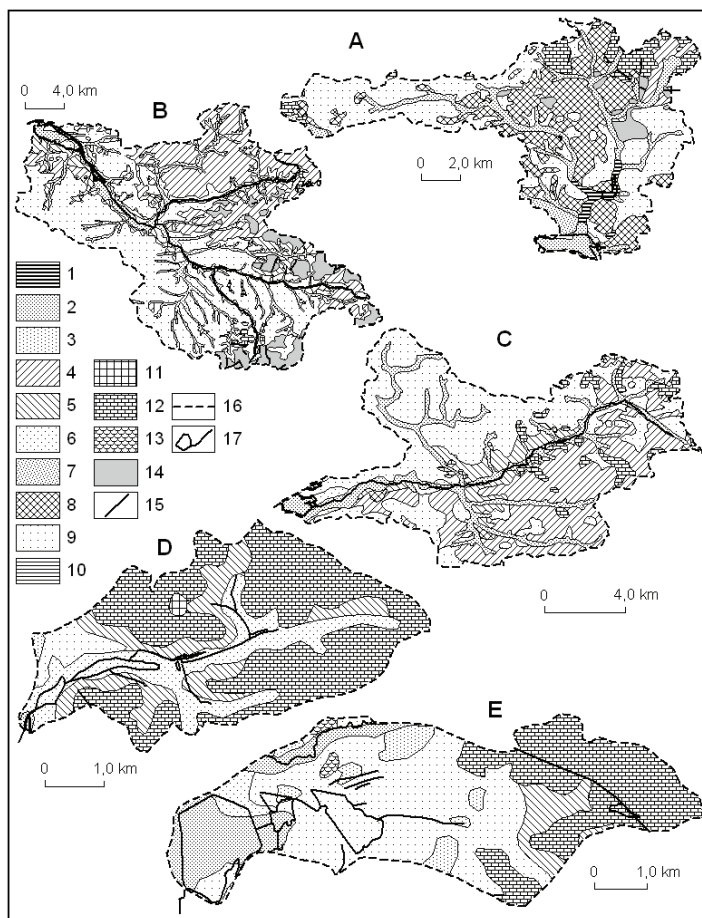
1 – fluvial sediments in general (Holocene), 2 – eolian sands in dunes (Quaternary), 3 – boulder clay (Pleistocene), 4 – sands and gravels in accumulation terraces (Pleistocene), 5 – glacial and glaciofluvial sands and gravels (Pleistocene), 6 – Ruda Beds – sandstones, shales, conglomerates, hard coal (Upper Carboniferous), 7 – water bodies catchment boundaries, 8 – watercourses and water bodies (A – water bodies at the location where the Rawa River enters the Brynica River, B – Chechło water body, C – Kazimierz water body, D – Sosina water body, E – Hubertus II water body, F – Czeladź Norwida water body, G – Balaton water body).



Rys. 8. Przykłady zróżnicowania utworów powierzchniowych w zlewniach groblowych zbiorników wodnych (wg: Szczegółowa mapa geologiczna..., 1956, 1959, 1999; Mapa geologiczna Polski, 1979): **1** – torfy (holocen), **2** – osady rzeczne w ogólności (holocen), **3** – piaski eoliczne (czwartorzęd), **4** – eluwia piaszczyste i pylaste gliny zwałowej (plejstocen), **5** – mułki, piaski i żwiry rzeczne (plejstocen), **6** – lessy (plejstocen), **7** – glina zwałowa (plejstocen), **8** – piaski oraz żwiry lodowcowe i wodnolodowcowe (plejstocen), **9** – iły i piaski z syderytami i węglem brunatnym warstw kędzierzyskich (neogen), **10** – iły zwarte, szare, margliste z soczewkami piasków, serii nadgipsowej (neogen), **11** – warstwy gogolińskie – wapienie płytowe i faliste, margle (trias), **12** – granice zlewni zbiorników, **13** – ciek i zbiorniki wodne (A – zbiornik Przetok, B – zbiornik Sławków, C – zbiorniki Łęczczok, D – zbiorniki Wielikąt, E – zbiorniki Kradziejówka).

Fig. 8. Examples of different surface formations in the catchments of levee ponds (after Szczegółowa mapa geologiczna... 1956, 1959, 1999; Mapa geologiczna Polski 1979):

1 – peats (Holocene), **2** – fluvial sediments in general (Holocene), **3** – eolian sands (Quaternary), **4** – sandy and dusty boulder clay eluvia (Pleistocene), **5** – fluvial loams, sands and gravels (Pleistocene), **6** – loesses (Pleistocene), **7** – boulder clay (Pleistocene), **8** – glacial and glaciofluvial sands and gravels (Pleistocene), **9** – clays and sands with siderites and lignite from Kędzierzyn Beds (Neogene), **10** – compact, gray, marly clays with sand lenses, supragypsum series (Neogene), **11** – Gogolin Beds – banded and wavy-bedded limestones, marls (Triassic), **12** – water bodies catchment boundaries, **13** – watercourses and water bodies (A – Przetok water body, B – Sławków water body. C – Łęczczok water bodies, D – Wielikąt water bodies, E – Kradziejówka water bodies).

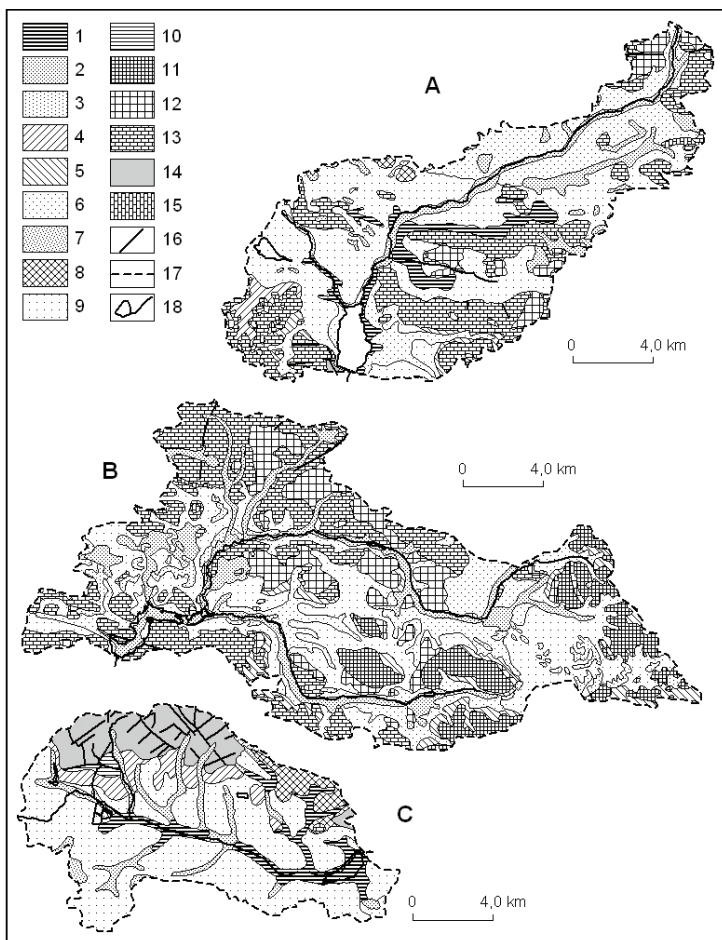


Rys. 9. Przykłady zróżnicowania utworów powierzchniowych zlewni poeksploatacyjnych zbiorników wodnych (wg: Mapa geologiczna..., 1979, 1980):

1 – torfy (holocen), 2 – osady rzeczne w ogólności (holocen), 3 – piaski eoliczne (również w wydmach) (czwartorzęd), 4 – eluvia piaszczyste i pylaste gliny zwałowej (plejstocen), 5 – piaski i gliny deluwialne (czwartorzęd), 6 – mulki, piaski i żwiry rzeczne (plejstocen), 7 – lessy (plejstocen), 8 – glina zwałowa (plejstocen), 9 – piaski i żwiry lodowcowe i wodnolodowcowe, glazy lodowcowe, kemów i moren czołowych (plejstocen), 10 – ily piaszczyste i margliste, piaski, łupki z gipsem (trzeciorzęd), 11 – żwiry, zlepieńce, piaski, ily i glinki ogniotrwałe (jura), 12 – ily, ilowce, mułowce, piaskowce, wapień, margle, dolomity, dolomity z ewaporytami i epigenetyczne (trias), 13 – zlepieńce, piaskowce, ilowce, mułowce (perm), 14 – zlepieńce, piaskowce, mułowce, ilowce, szarogłazy, łupki, również węgiel kamienny (karbon), 15 – uskoki, 16 – granice zlewni zbiorników, 17 – ciek i zbiorniki wodne (A – zbiornik Pławniowice, B – zbiornik Dzierżno Duże, C – zbiornik Dzierżno Małe, D – zbiorniki Rogoźnik, E – zbiornik Pogoria III).

Fig. 9. Examples of different surface formations in the catchments of flooded mineral workings (after Mapa geologiczna... 1979, 1980):

1 – peats (Holocene), 2 – fluvial sediments in general (Holocene), 3 – eolian sands (including in dunes) (Quaternary), 4 – sandy and dusty boulder clay eluvia (Pleistocene), 5 – deluvial sands and clays (Quaternary), 6 – fluvial loams, sands and gravels (Pleistocene), 7 – loesses (Pleistocene), 8 – boulder clay (Pleistocene), 9 – glacial and glaciofluvial sands and gravels, glacial boulders, kames and end moraines (Pleistocene), 10 – sandy and marly clays, sands, shales with gypsum (Tertiary), 11 – gravels, conglomerates, sands, clays and fire clays (Jurassic), 12 – clays, claystones, mudstones, sandstones, limestones, marls, dolomites, dolomites with evaporites and epigenetic dolomites (Triassic), 13 – conglomerates, sandstones, claystones, mudstones (Permian), 14 – conglomerates, sandstones, mudstones, claystones, greywackes, shales, including hard coal (Carboniferous), 15 – faults, 16 – water bodies catchment boundaries, 17 – watercourses and water bodies (A – Pławniowice water body, B – Dzierżno Duże water body, C – Dzierżno Małe water body, D – Rogoźnik water bodies, E – Pogoria III water body).

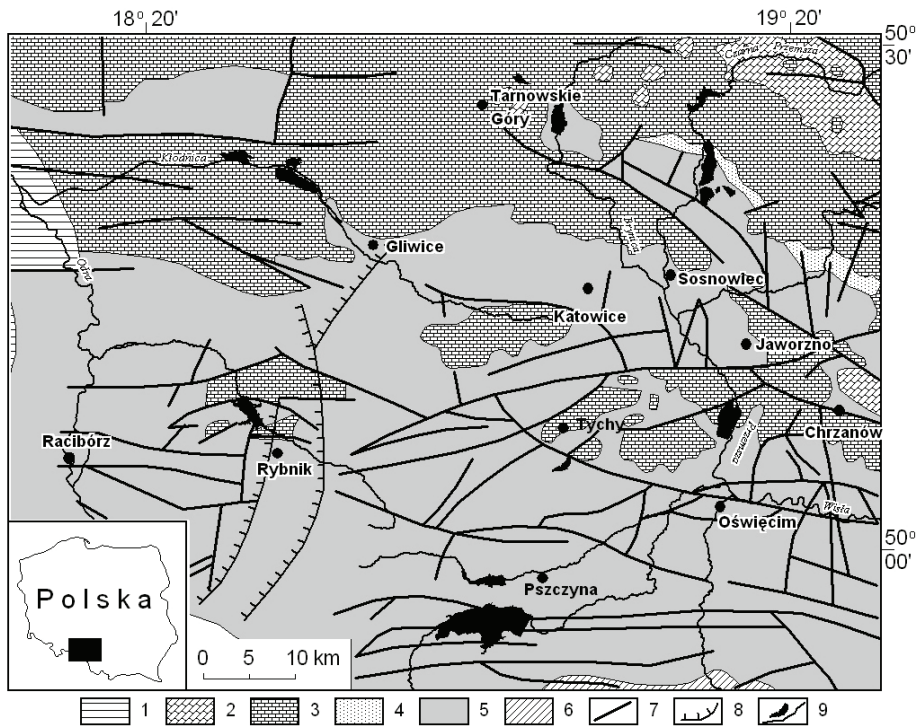


Rys. 10. Przykłady zróżnicowania utworów powierzchniowych zlewni zaporowych zbiorników wodnych (wg: Szczegółowa mapa geologiczna..., 1957; Mapa geologiczna..., 1979, 1980):

1 – torfy (holocen), 2 – osady rzeczne w ogólności (holocen), 3 – piaski eoliczne (czwartorzęd), 4 – eluwia piaszczyste i pylaste gliny zwałowej (plejstocen), 5 – piaski i żwiry deluwialne (czwartorzęd), 6 – mulki, piaski i żwiry rzeczne (plejstocen), 7 – lessy (plejstocen), 8 – glina zwałowa (plejstocen), 9 – piaski oraz żwiry lodowcowe i wodnolodowcowe (plejstocen), 10 – ropy piaszczyste i margliste, piaski, łupki ilaste (trzeciorzęd), 11 – wapienie płytowe, skaliste, ilaste, ropy z wkładkami łupków i zlepieńce (jura górna i środkowa), 12 – piaski, piaskowce, zlepieńce, żwiry, ropy, glinki ogniotrwałe (jura dolna), 13 – ropy, ropy, mułowce, piaskowce, wapienie, margle, dolomity (trias), 14 – ropy, piaskowce, mułowce, zlepieńce, węgiel kamienny (karbon), 15 – wapienie, dolomity, mułowce, piaskowce i łupki (dewon), 16 – uskoki, 17 – granice zlewni zbiorników, 18 – ciek i zbiorniki wodne (A – zbiornik Kozłowa Góra, B – zbiornik Przeczyce, C – Paprocany).

Fig. 10. Examples of different surface formations in the catchments of reservoirs impounded by dams (after Szczegółowa mapa geologiczna... 1957; Mapa geologiczna... 1979, 1980):

1 – peats (Holocene), 2 – fluvial sediments in general (Holocene), 3 – eolian sands (Quaternary), 4 – sandy and dusty boulder clay eluvia (Pleistocene), 5 – deluvial sands and gravels (Quaternary), 6 – fluvial loams, sands and gravels (Pleistocene), 7 – loesses (Pleistocene), 8 – boulder clay (Pleistocene), 9 – glacial and glaciofluvial sands and gravels (Pleistocene), 10 – sandy and marly clays, sands, clay shales (Tertiary), 11 – banded, massive, clayey limestones, clays with shale inserts and conglomerates (Upper and Middle Jurassic), 12 – sands, sandstones, conglomerates, gravels, clays, ropy (Lower Jurassic), 13 – clays, claystones, mudstones, sandstones, marls, dolomites (Triassic), 14 – claystones, sandstones, mudstones, conglomerates, hard coal (Carboniferous), 15 – limestones, dolomites, mudstones, sandstones and shales (Devonian), 16 – faults, 17 – water bodies catchment boundaries, 18 – watercourses and water bodies (A – Kozłowa Góra water body, B – Przeczyce water body, C – Paprocany).



Rys. 11. Zróżnicowanie geologiczne starszego podłoża obszaru badań tzn. bez osadów Paleogenu i młodszych (wg: Mapa geologiczna Polski..., 2000):

1 – margle i piaskowce (kreda), 2 – wapień płytowe, skaliste, oolitowe, pylaste i kredowate, żwiry, zlepieńce, piaski, ropy i glinki ogniotrwale (jura), 3 – ilowce, piaskowce, mułowce, dolomity, wapień, margle, dolomity epigenetyczne – kruszonośne (trias), 4 – zlepieńce myślachowickie, piaskowce, ilowce, mułowce, arkozy, martwica karniowicka (perm), 5 – ilowce, mułowce, piaskowce, węgiel kamienny (karbon), 6 – wapień, dolomity, mułowce, piaskowce i łupki (dewon), 7 – uskoki, 8 – nasunięcia, 9 – wody powierzchniowe.

Fig. 11. Different geological formations present in the older substrate of the study area (after Mapa geologiczna Polski... 2000):

1 – marls and sandstones (Cretaceous), 2 – banded, massive, oolitic, dusty and chalky limestone, gravels, conglomerates, sands, clays and fire clays (Jurassic), 3 – claystones, sandstones, mudstones, dolomites, limestones, marls, epigenetic ore-bearing dolomites (Triassic), 4 – Myślachowice conglomerates, sandstones, claystones, mudstones, arkoses, Karniowice travertine (Permian), 5 – claystones, mudstones, sandstones, hard coal (Carboniferous), 6 – limestones, dolomites, mudstones, sandstones and shales (Devonian), 7 – faults, 8 – overthrusts, 9 – surface waters.

3.1.2. Uwarunkowania geomorfologiczne

Uwarunkowania geomorfologiczne w przypadku zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim utożsamia się z ich podłożem naturalnym oraz antropogenicznym. Zasadniczo podłożem mis zbiorników wodnych stanowią utwory powierzchniowe określonej formacji geologicznej, ukształtowane w przedziale hipsometrycznym, odpowiadającym terenem wyżynnym w częściach cen-

tralnej, północnej, wschodniej i południowo-wschodniej regionu oraz nizinnym w częściach zachodniej i południowej. W przypadku większości akwenów podłoże ma charakter autochtoniczny. Zdarzają się jednak sytuacje, w których misa włożona jest w utwory przemieszczone antropogenicznie i o odmiennych właściwościach w stosunku do utworów naturalnych. Specyfika geomorfologiczna regionu górnośląsko-zagłębiowskiego polega na możliwości wyodrębnienia kilku regionów o zupełnie odmiennych cechach rzeźby (Gilewska, 1972; Bukowy, 1974; Mizerski, 2005).

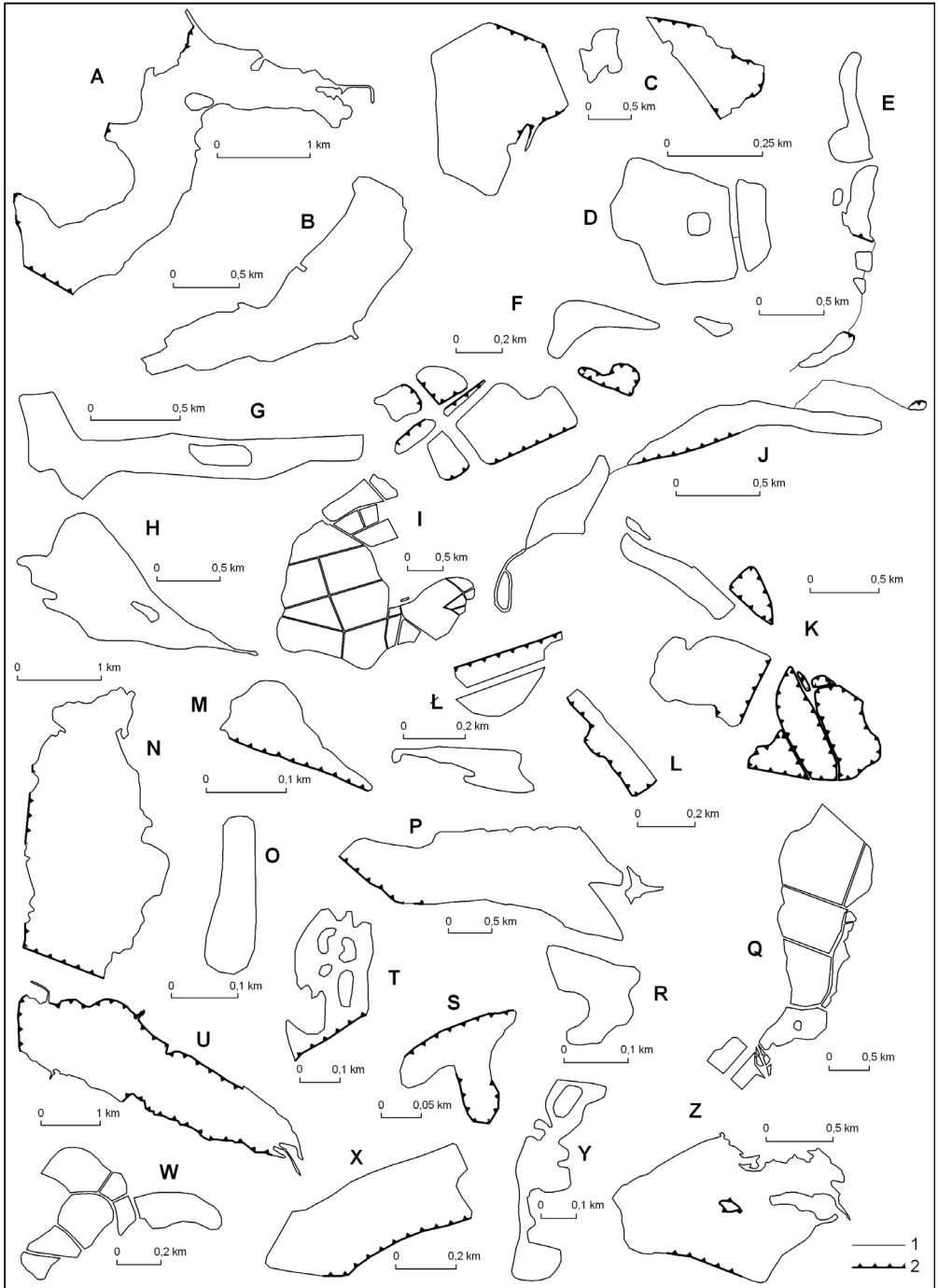
Cechą charakterystyczną ukształtowania północnej części regionu jest tzw. rzeźba krawędziowa z występującymi wzniesieniami o wysokości kilkudziesięciu metrów. Są to progi strukturalne (kuesty) zbudowane ze skał mezozoicznych. Najdłuższy, a zarazem jeden z wyraźniej zaznaczających się w rzeźbie terenu, jest próg nazywany środkowotriasowym (próg wapienia muszlowego), który rozciąga się od Olkusza na wschodzie po dolinę Odry na zachodzie. Części wschodnia i środkowa tych wzniesień określane są mianem Garbu Tarnogórskiego, a zachodnia ich kulminacja w postaci Góry Św. Anny wchodzi w skład jednostki nazywanej Garbem Chełmu. Są one rozczłonkowane dolinami rzek: Czarnej Przemszy, Białej Przemszy, Brynicy, Potoku Toszeckiego. W południowej części regionu górnośląsko-zagłębiowskiego rzeźba ma charakter zrębowy z dającymi się wyodrębnić w ukształtowaniu jednostkami Zrębu Mikołowskiego oraz Płaskowyżu Bytomsko-Katowickiego. Jeszcze bardziej na południowy-zachód występuje Płaskowyż Rybnicki (Gilewska, 1972; Bukowy, 1974; Kondracki, 1994; Mizerski, 2005).

Staroglacjalny charakter rzeźby regionu górnośląsko-zagłębiowskiego należy wiązać przede wszystkim z widocznymi, zwłaszcza na obrzeżach Wyżyny Śląskiej, śladami wpływu zlodowaceń plejstocénskich. Czwartorzędowe pokrywy osadowe, szczególnie wyraźne w kopalnych dolinach rzecznych (Lewandowski, Kaziuk, 1982), pochodzą z okresu zlodowaceń południowopolskiego i północnopolskiego (Jahn, 1955), a głównie z okresu zlodowacenia środkowopolskiego. Ostatnie z wymienionych zlodowaceń należy wiązać z zakumulowanymi w postaci nieciągłych i różnej miąższości pokrywami materiału fluwioglacjalnego i zwałowego, który był przeobrażany sedimentologicznie w trakcie przemieszczania w interglacjale eemskim i neoplejstocenie oraz okresie późniejszym (Lewandowski, 1982).

Rozwój przemysłu wydobywczego i przetwórczego oraz zmiany sieci osadniczej i komunikacyjnej to główne czynniki decydujące o antropogenicznej modyfikacji rzeźby. Jest ona urozmaicona antropogenicznymi formami terenu, utworzonymi w wyniku bezpośredniej działalności gospodarczej (np.: wyrobiskami, wkopami, rowami, powierzchniami zniwelowanymi, hałdami, zwałowiskami, nasypami) oraz powstałymi w wyniku współdziałania procesów gospodarczych i czynników naturalnych (np.: nieckami z osiadania, zapadliskami, niektórymi formami eolicznymi, deltami, klifami, mierzejami).

Chociaż same zbiorniki wodne w regionie górnośląsko-zagłębiowskim w zdecydowanej większości są efektem ludzkiej działalności, to dla kształtowania obrazu geomorfologicznych przemian ich mis duże znaczenie ma stan początkowy

formy, która została wypełniona wodą. Charakter procesów brzegowych zależy bezpośrednio od zróżnicowania sytuacyjno-wysokościowego wybrzeża. Wykładnikiem tego zróżnicowania jest występowanie brzegów wysokich i niskich (rys. 12).



Na 192,8 km łącznej długości brzegów zbiorników wodnych 29,2 km (tj. 15,1%) stanowią brzegi wysokie i odpowiednio brzegi niskie mają łączną długość 163,7 km (tj. 84,9%). Niektóre zbiorniki są całkowicie pozbawione brzegów wysokich, np. Przetok, Wielikąt, Łęczczok, Sosina. Nie występują natomiast zbiorniki o wyłącznie wysokich brzegach. Kilka akwenów ma porównywalne długości brzegów niskich i wysokich, np. Brzeziny, Dzierżno Duże, Koparki.

Od sytuacji hipsometrycznej lub batymetrycznej, wyrażającej ukształtowanie rzeźby wybrzeża i dna misy, bezpośrednio zależy formowanie pokrywy osadów dennych, które wypełniają przede wszystkim zagłębienia dna i płaskie jego powierzchnie. W przypadku zbiorników zaporowych, groblowych oraz w nieckach osiadania decydujące znaczenie dla późniejszej limnicznej depozycji osadów dennych odgrywa charakter powierzchni dna doliny lub zagłębienia bezodpływowego. W odniesieniu do zbiorników poeksploatacyjnych rolę powierzchni przedzbiornikowej pełni dno wyrobiska uformowanego w procesie końcowym wydobycia kopaliny ze złoża lub w czasie prowadzonej rekultywacji technicznej. Przykładem urozmaicenia geomorfologicznego wyrobiska jest czasza przyszłego zbiornika Pogoria III, prezentowana na materiałach kartograficznych kopalni odkrywkowej Gołonóg III (rys. 13). Wklęsła forma terenu pozostała po wydobyciu blisko 30 mln m³ piasku (Jaguś, Rzętała, 2008) charakteryzowała się powierzchnią około 2,3 km² i około różnicą 20 m wysokości między górnymi krawędziami wyrobiska a najgłębszym miejscem na dnie. Samo dno charakteryzowało występowanie wielu nierówności, w tym głębokich na kilka metrów podłużnych form poeksploatacyjnych o funkcjach odwadniających oraz nasypów i rozległych zagłębień.

Źródłem dostawy substancji mineralnych i organicznych do zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego jest atmosfera, materiał rumowiskowy alimentujących je rzek oraz materiał brzegowy (Rzętała, 2003).

Substancje dostarczane z troposfery w postaci suchej i mokrej depozycji stanowią zwykle niewielki odsetek materii wchodzącej w skład pokrywy osadów dennych. Wyjątkiem są zbiorniki pozbawione dopływów lub zasilane ciekami o niewielkim przepływie, np. Pogoria III. Tym samym ograniczone możliwości zasilania rumowiskiem powodują, że znaczący udział w kształtowaniu pokrywy osadów dennych ma dostawa substancji z troposfery. Jak wynika z danych Ośrodka Badań

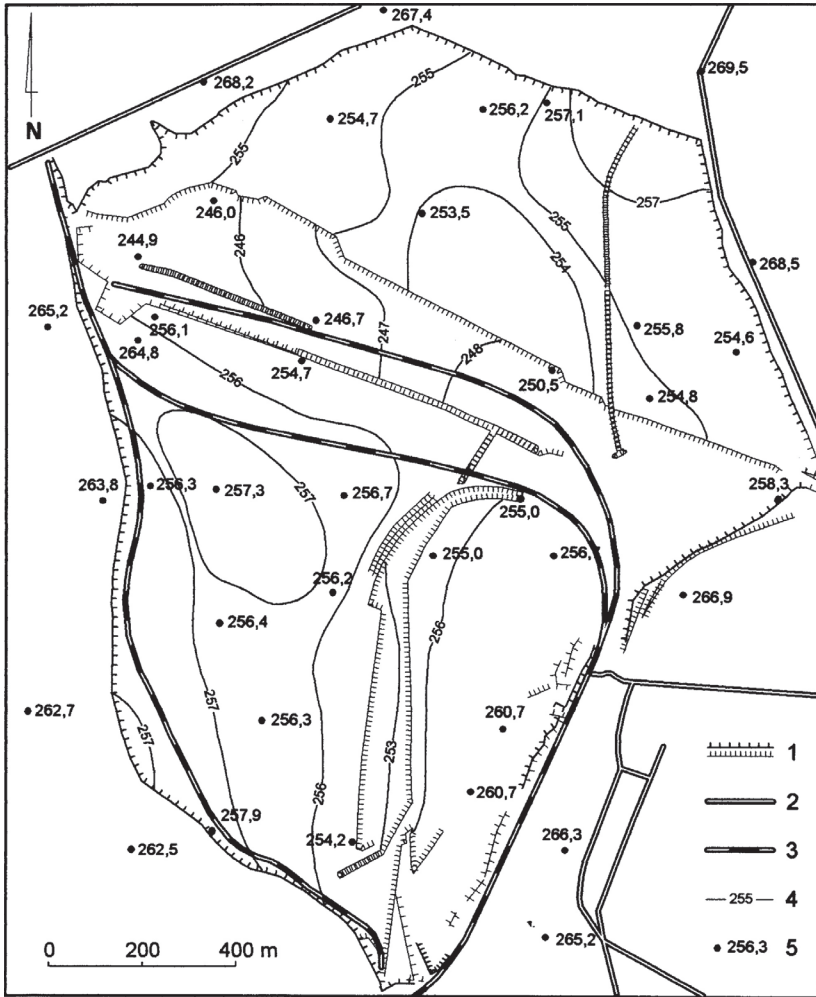
←
Rys. 12. Zróżnicowanie hipsometryczne brzegów zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego.

Zbiorniki: **A** – Przezyce, **B** – Paprocany, **C** – Pogoria, **D** – Balaton, **E** – w zlewni Potoku Leśnego, **F** – Zabie Doły, **G** – Sosina, **H** – Chechło, **I** – Wielikąt, **J** – Rogoźnik, **K** – u ujścia Rawy do Brynicy, **L** – Koparki, **M** – Czeladź Norwida, **N** – Kozłowa Góra, **O** – Przetok, **P** – Pławniowice i Mały Zalew, **Q** – Łęczczok, **R** – Sławków, **S** – Brzeziny, **T** – Ostroźnica, **U** – Dzierżno Duże, **W** – Kradziejówka, **X** – Hubertus II, **Y** – Kazimierz, **Z** – Dzierżno Małe; 1 – brzegi niskie, 2 – brzegi wysokie.

Fig. 12. Differences in the elevations of shores of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region

Water bodies: **A** – Przezyce, **B** – Paprocany, **C** – Pogoria, **D** – Balaton, **E** – within the Potok Leśny Stream catchment, **F** – Zabie Doły, **G** – Sosina, **H** – Chechło, **I** – Wielikąt, **J** – Rogoźnik, **K** – at the location where the Rawa River enters the Brynica River, **L** – Koparki, **M** – Czeladź Norwida, **N** – Kozłowa Góra, **O** – Przetok, **P** – Pławniowice and Mały Zalew, **Q** – Łęczczok, **R** – Sławków, **S** – Brzeziny, **T** – Ostroźnica, **U** – Dzierżno Duże, **W** – Kradziejówka, **X** – Hubertus II, **Y** – Kazimierz, **Z** – Dzierżno Małe; 1 – flat shores, 2 – high shores.

i Kontroli Środowiska w Katowicach, wielkości tej dostawy ulegają zmianom na przestrzeni lat oraz wykazują duże zróżnicowanie przestrzenne. O ile w latach 70. XX wieku opad pyłu w otoczeniu zbiorników wodnych zachodniej części badanego obszaru kształtował się w ciągu roku na poziomie dziesiątek ton na km², a w sąsiedztwie pozostałych był rzędu setek ton/km² rocznie, o tyle pod koniec lat 90. XX w. wszystkie zbiorniki charakteryzowała dostawa pyłu rzędu dziesiątek ton na km²



Rys. 13. Plan sytuacyjno-wysokościowy wyrobiska Gołonóg III w końcowej fazie eksploatacji piasku opracowany na podstawie materiałów kartograficznych administratora kopalni (wg: Jaguś, Rzętała, 2008):

1 – krawędzie eksploacyjne, 2 – drogi, 3 – torowiska, 4 – izohipsy (poziomice), 5 – punkty wysokościowe.

Fig. 13. Situational/altitude plan of the Gołonóg III mineral workings in the final sand excavation phase, developed on the basis of cartographic materials provided by the mine administrator (after Jaguś, Rzętała 2008):

1 – exploitation edges, 2 – roads, 3 – railway tracks, 4 – contour (elevation) lines, 5 – elevation points.

w ciągu roku, przy czym zbiorniki w centralnej części regionu górnośląsko-zagłębiowskiego przyjmowały rocznie opad pyłu w ilościach od tysięcy ton na km² w latach 70. do setek ton na km² obecnie.

Ilość materiału dostarczanego ciekami do zbiorników wodnych zależy od warunków wodnych i litologii zlewni, ale w przypadku regionu górnośląsko-zagłębiowskiego w dużym stopniu także od wpływów antropogenicznych — ciekami są zanieczyszczane ściekami, wodami technologicznymi, wodami kopalnianymi, spływami erozyjnymi z hałd górniczych bądź agrocenoz itp. (Rzętała i in., 2013). W regionie górnośląsko-zagłębiowskim istotne znaczenie w kształtowaniu transportu fluwialnego odgrywa również litologia utworów będących przedmiotem eksploatacji. Dotyczy to zwłaszcza kopalni zawierających węgiel kamienny. Miał węglowy wydobyty wraz z urobkiem za pośrednictwem osadników trafia do cieków, a następnie jest przenoszony przez wodę i ulega akumulacji w obrębie form deltowych i osadów dennych. Przeprowadzone prace wykazały (Rzętała, 2003; Rzętała i in., 2013), że ilość materii dopływająca do badanych zbiorników jest zróżnicowana i zależy od charakteru antropopresji na obszarze zlewniowym. Przykładowo, ilość materiału dennego wprowadzanego do zbiorników wynosiła: 12 mg/s do zbiornika Pogoria III (zlewnia półnaturalna), 150 mg/s do zbiornika Przeczyce (zlewnia miejsko-rolnicza), 138 mg/s do zbiornika Kozłowa Góra (zlewnia rolnicza) i aż 0,37 kg/s do zbiornika Dzierżno Duże (zlewnia miejsko-przemysłowa). Równie duże zróżnicowanie dotyczyło transportu zawiesiny, której ilości dopływające do wymienionych zbiorników były następujące: 1,6 g/s (Pogoria III), 9,2 g/s (Przeczyce), 7,7 g/s (Kozłowa Góra) oraz 448,0 g/s (Dzierżno Duże).

Źródłem materiału budującego osady denne jest lokalna dostawa substancji z brzegów (Banach, 1981), ale ilości te w warunkach zbiorników górnośląsko-zagłębiowskich nie są duże w świetle antropogenicznie kształtowanej alimentacji rumowiskiem (Rzętała, 2003). Można się przy tym spodziewać zróżnicowania wielkości dostawy w zależności od genezy zbiornika — w przypadku zbiorników poeksploatacyjnych (zwłaszcza o dużym nachyleniu ścian dawnej odkrywki) odsetek materiału pochodzącego z przekształceń misy będzie znacznie większy niż w przypadku zbiorników zaporowych w nieckach z osiadania itp.

Znikome ilości różnoziarnistego materiału mineralnego deponowanego na dnie zbiorników wodnych pochodzą także z topniejącej wiosną pokrywy lodowej, która w okresie zimy jest miejscem depozycji osadu nieorganicznego, o czym wspomina M. Banach (1993b).

3.1.3. Uwarunkowania klimatyczne i meteorologiczne

Przemiany geomorfologiczne misy zbiorników wodnych zachodzą w warunkach atmosferycznych, podlegających uwarunkowaniom przyrodniczym oraz antropogenicznym, co poniekąd jest typowe dla obszarów miejsko-przemysłowych.

Jednym z głównych czynników kształtujących klimat regionu górnośląsko-zagłębiowskiego jest cyrkulacja atmosfery, która — jak podaje T. Niedźwiedź (1998) — dodatkowo odgrywa istotną rolę w modyfikacji rozkładu zanieczyszczeń tego uprzemysłowionego i zurbanizowanego obszaru. Duża zmienność warunków pogodowych wynika z częstego i aktywnego napływu różnych mas powietrza oraz stosunkowo szybkiego przemieszczania zmieniających się układów ciśnienia.

Stosunki termiczne wyraża średnia roczna temperatura powietrza z wielolecia wynosząca od 7,7°C do 8,1°C (1961—1990), w zależności od stacji meteorologicznej, przy regionalnym zróżnicowaniu średnich rocznych w granicach od 6,7°C do 9,2°C (Charakterystyka klimatologiczna..., 1992).

Średnia roczna suma opadów atmosferycznych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim kształtuje się w granicach od 655 mm do 835 mm (1961—1990). Z danych IMGW wynika, że w Katowicach (kojarzonych z centralną częścią obszaru badań) w latach 1963-2007 opady wynosiły średnio 724 mm, przy minimalnej rocznej sumie 498 mm w 1964 roku i maksymalnej rocznej 1020 mm w 1977 r. (Rzętała, 2008). W skali wielolecia najczęściej opadów występuje od maja do sierpnia, a w przestrzennym rozkładzie daje się zauważyć wzrost ich wielkości z zachodu i północnego-zachodu ku południowemu-wschodowi (Charakterystyka klimatologiczna..., 1992).

W związku z ogólną cyrkulacją atmosferyczną — której wyrazem jest częsty i aktywny napływ mas powietrza z zachodu oraz ścieranie się wilgotnych mas powietrza polarno-morskiego z bardziej suchymi masami kontynentalnymi (Niedźwiedź, 1998) — przeważają wiatry z sektora zachodniego (SW, W, NW). Ich udział w wieloleciu 1961—1990 był zmienny i wynosił w przypadku jednej ze stacji (Świerklaniec) aż 60%. Zasadniczo wiatry z kierunków zachodnich są jednocześnie wiatrami o największych z wielolecia średnich prędkościach (Charakterystyka klimatologiczna..., 1992). Wiatry o prędkości do 2 m/s występowały zdecydowanie najczęściej, a wiatry o sile przekraczającej 10 m/s stanowiły niewielki odsetek przypadków pomiarowych. Wiatry o największych prędkościach, a więc potencjalnie o największych siłach, mają największe możliwości inicjowania procesów brzegowych wywołanych falowaniem wiatrowym. Cisze stanowiły, w zależności od posterunku pomiarowego, od kilku do kilkunastu procent ogólnej liczby obserwacji w roku.

Średnie roczne wartości wilgotności względnej powietrza we wspomnianym wieloleciu na Wyżynie Śląskiej kształtowały się na poziomie około 76%. Określane w ośmiostopniowej skali zachmurzenie również charakteryzuje się niewielkim zróżnicowaniem, wynosząc od 5,0 do 5,7 (Charakterystyka klimatologiczna..., 1992). Średnie roczne sumy usłonecznienia zawierają się w przedziale od 1270 do 1370 godzin i są niższe od wartości średnich dla całej Polski (Ostrowska, Ośrodek, 1987).

W ocenie funkcjonowania zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego istotne są także warunki areosanitarne. Szczególne znaczenie ma dostawa substancji z troposfery, zarówno w postaci suchej depozycji, jak i wraz z opadami atmosferycznymi (Leśniok, 1996). Wielkości tej dostawy — ocenionej na podstawie danych Ośrodka Badań i Kontroli Środowiska w Katowicach — ule-

gały istotnym zmianom w okresie funkcjonowania zbiorników wodnych, wykazują także duże zróżnicowanie przestrzenne. Zbiorniki centralnej, najsilniej uprzemysłowionej i zurbanizowanej części regionu górnośląsko-zagłębiowskiego przyjmowały rocznie opad pyłu w ilościach od tysięcy ton na km² w latach 70., do setek ton na km² obecnie (Rzętała, 2003). Na obrzeżach regionu w latach 70. XX wieku rząd wielkości opadu pyłu oceniano od dziesiątek do setek ton/km² rocznie, a pod koniec 1990 roku i na początku XXI wieku wszystkie zbiorniki charakteryzowała dostawa pyłu rzędu dziesiątek ton na km² w ciągu roku.

3.1.4. Uwarunkowania hydrologiczne

Podstawową cechą warunków hydrologicznych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego jest występowanie kilku tysięcy zbiorników wodnych, których pojawienie się w krajobrazie zainicjowało rozwój nowych jakościowo procesów morfogenetycznych na tym obszarze. Są to zbiorniki o różnej genezie (zaporowe, poeksploatacyjne, w nieckach osiadania, groblowe, inne) i przeznaczeniu. Sztuczne zbiorniki wodne stały się — z hydrologicznego punktu widzenia — nowymi ogniwami obiegu materii, stwarzając warunki do jej migracji w zupełnie nowych kierunkach. Występowanie kilku tysięcy zbiorników wodnych w centralnej części województwa śląskiego i obrzeżach sąsiednich jednostek administracyjnych jest podstawą wydzielenia Górnośląskiego Pojezierza Antropogenicznego o powierzchni kilku tysięcy km². Gęstość występowania zbiorników (70,54 na 100 km²) oraz ich łączna powierzchnia (185,4 km²) decydują o jeziorności Górnośląskiego Pojezierza Antropogenicznego, kóra wynosi 2,74% i jest porównywalna z terenami młodoglacjalnymi, utożsamianymi z największą koncentracją jezior w Polsce (Rzętała, 2008).

Pozostałe uwarunkowania hydrologiczne przemian geomorfologicznych mis zbiorników antropogenicznych utożsamia się przede wszystkim z przepływem wody przez zbiorniki oraz z reżimem ich eksploatacji (wahania stanów wody, falowanie, występowanie pokrywy lodowej).

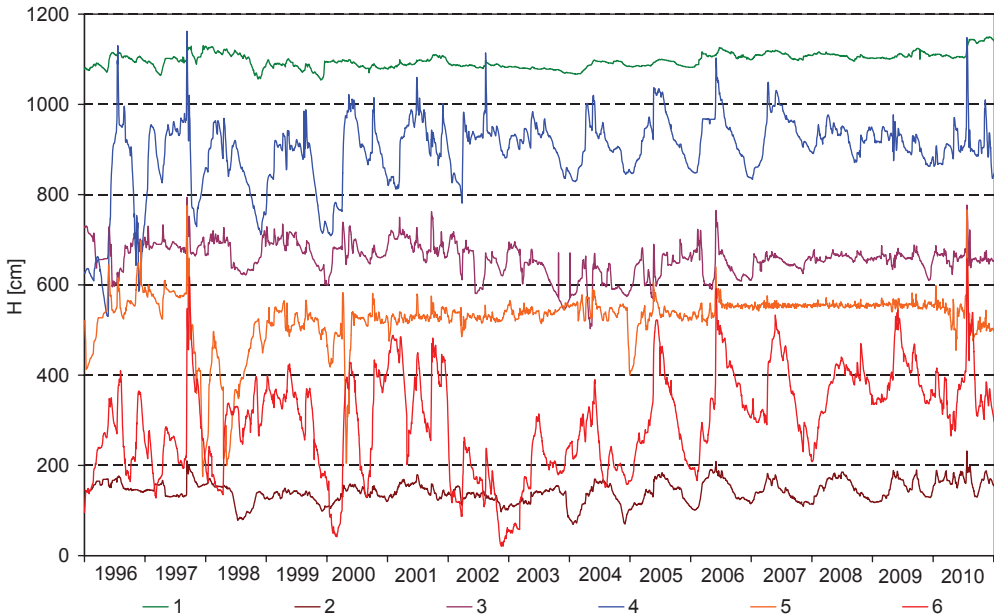
O warunkach poziomej wymiany wody w zbiornikach świadczą średnie roczne przepływy w ciekach je zasilających. Średnio wynoszą one od kilku dziesiątych m³/s w przypadku niewielkich cieków (np. Mitręga, Pogoria, Jaworzniak, Potok Leśny), do kilku m³/s (np. Kłodnica, Czarna Przemsza, Brynica, Gostynia, Pszczynka), a sporadycznie do kilkunastu m³/s (okresowo Przemsza) i kilkudziesięciu m³/s (Odra, okresowo Przemsza, Wisła poniżej ujścia Soły). Warunki przepływu wody przez zbiorniki w niektórych zlewniach uległy antropogenizacji i zależą nie tylko od opadów atmosferycznych, ukształtowania terenu, odmiennych możliwości retencji wód na terenie ich zlewni, lecz także od tzw. przerzutów wody spoza zlewni, zrzutu ścieków i wód pochodzących z odwodnienia zakładów górniczych, sterowania obiegiem wody (Czaja, 1999). Kłodnica zasilająca zbiornik Dzierżno Duże jest dobrym przykładem rzeki, w której naturalny reżim hydrologiczny uległ całkowitemu

zaburzeniu, a wahania sezonowe uległy antropogenicznemu zatarciu. Zbiorniki na obszarach bezodpływowych pozbawione reolimnicznego charakteru, pod względem wymiany wody pozostają pod wpływem opadów atmosferycznych oraz parowania. Roczna alimentacja badanych zbiorników wodnych przez opady atmosferyczne wynosi od setek i tysięcy m^3 , w przypadku niewielkich powierzchniowo akwenów, do kilku hm^3 , w odniesieniu do zbiorników największych. Podobnie przedstawiają się wartości świadczące o uszczupleniu retencji w konsekwencji parowania, chociaż dla zbiorników bezodpływowych jest ono dominującą pozycją po stronie rozchodów wody w bilansie wodnym.

Pośród wszystkich rodzajów ruchów wód jeziornych, w przypadku badanych zbiorników wodnych, duże znaczenie morfotwórcze ma falowanie. Falowanie jest ruchem wody wywoływanym najczęściej przez wiatr (fale wiatrowe) i może trwać nawet po jego ustaniu (fale swobodne, rozkołys, fale martwe). Zdarza się również występowanie falowania wymuszonego antropogenicznie, np. ruchem środków pływających. Falowanie jest jednym z ważniejszych czynników modelujących linię brzegową, a także wpływa na sukcesję roślinności przybrzeżnej, ruch rumowiska i depozycję zawiesiny (Choiński, 1995). Wysokość fal na zbiornikach regionu górnośląsko-zagłębiowskiego osiąga nie więcej niż kilkadziesiąt centymetrów. Z obserwacji terenowych wiadomo, że falami najczęściej cechującymi zbiorniki będące przedmiotem rozważania były fale o wysokości 10—20 cm, przy prędkości wiatru do 5 m/s. Przy prędkości wiatru wynoszącej 10—15 m/s wysokość fal dochodziła do ponad 50 cm i była zróżnicowana w zależności od długości efektywnej zbiornika (długości „rozpędu” fali). Stwierdzono, że najbardziej efektywne morfologicznie są wiatry o prędkościach przekraczających 10 m/s (Rzetała, 2003). Jednak w przypadku zbiorników charakteryzujących się dużymi i częstymi wahaniami stanów wody dużą rolę w modelowaniu rzeźby ich wybrzeży odgrywają występujące częściej wiatry o mniejszych prędkościach. Wynika to z faktu krótko trwającej, ale przy częstych wahaniami stanów wody obejmującej coraz to nowe partie wybrzeża, modyfikacji rzeźby przez fale o niewielkiej wysokości. Determinantą czasu ekspozycji wybrzeża na oddziaływanie nawet niewielkich fal są wahania stanów wody. Im częstsze ich występowanie i zakres, tym bardziej dynamiczne zmiany rzeźby, które obejmują przestrzenie odpowiadające zasięgowi wahań stanów wody w zbiornikach. Specyficzne ukształtowanie rzeźby wybrzeży zbiorników, zwłaszcza poeksploatacyjnych (niewielkie powierzchniowo platformy abrazyjne, duża głębokość w strefie przybrzeżnej) powoduje, że transformacja fal głębokowodnych na fale płytkowodne odbywa się w niewielkiej odległości od brzegów zbiornika.

W obrębie badanych zbiorników wodnych występują również prądy jeziorne. Mają one charakter słabych prądów przepływowych i wiatrowych, czyli powstają na skutek odpowiednio przepływu rzeki i działania wiatru. Występowanie prądów jest dokumentowane przez wymuszone przemieszczaniem wód jeziornych ukierunkowanie akumulacji rumowiska w strefie krańcowej delt oraz formy brzegowe powstające przy udziale prądów litoralnych, które powstają w wyniku natarcia fal na brzeg. Formy te mają charakter stały lub efemeryczny.

Wahania stanów wody w naturalnych i sztucznych zbiornikach wodnych w istotny sposób wpływają na charakter morfologii zwłaszcza tych fragmentów wybrzeża, które znajdują się w strefie wyznaczonej przez zasięg ekstremalnych stanów wody, aczkolwiek najbardziej dynamiczne zmiany morfologiczne kształtowane przebiegiem procesów brzegowych dotyczą partii brzegu, który odpowiada strefie stanów średnich. Zakres wahań stanów wody znajduje proste przełożenie na wielkość aktywnej morfologicznie powierzchni rzeczywistej uzależnionej od nachylenia powierzchni topograficznej. Pod względem wahań stanów wody w zbiornikach w regionie górnośląsko-zagłębiowskim występują zasadniczo dwa rodzaje akwenów. Pierwszy typ zbiorników zachowuje atrybuty jezior, a zmienność poziomu ich wód warunkowana jest przede wszystkim zmianami klimatycznymi oraz poziomem wód gruntowych (Nowaczyk, 1994) i jest wypadkową różnorodnego zasilania jezior (Choński, 1995). W zbiornikach należących do drugiego typu może wystąpić zaburzenie sezonowej zmienności dopływu i odpływu powierzchniowego wody, wynikające z realizacji aktualnych założeń gospodarki wodnej (Rzętała, 2008), której pochodną są wahania stanów wody o amplitudzie dochodzącej do kilku metrów (rys. 14).



Rys. 14. Zmiany codziennych wysokości zwierciadła wody w zbiornikach o różnym stopniu antropogenicznego obciążenia w latach hydrologicznych 1996–2010 (opracowanie własne na podstawie danych RZGW w Gliwicach):

1 – Pogoria III (250,00 m n.p.m. + H), 2 – Pławniowice (192,00 m n.p.m. + H), 3 – Łąka (243,00 m n.p.m. + H), 4 – Przeczyce (278,00 m n.p.m. + H), 5 – Dzierżno Małe (198,00 m n.p.m. + H), 6 – Dzierżno Duże (196,00 m n.p.m. + H).

Fig. 14. Changes in daily water levels in water bodies subject to varying levels of human pressure in the hydrological years 1996–2010 (own study based on data from the Regional Water Management Authority in Gliwice):

1 – Pogoria III (250.00 m a.s.l. + H), 2 – Pławniowice (192.00 m a.s.l. + H), 3 – Łąka (243.00 m a.s.l. + H), 4 – Przeczyce (278.00 m a.s.l. + H), 5 – Dzierżno Małe (198.00 m a.s.l. + H), 6 – Dzierżno Duże (196.00 m a.s.l. + H).

Na geomorfologię strefy litoralnej wpływają zjawiska lodowe, a zwłaszcza pokrywa lodowa. Charakter tego wpływu jest zależny m.in. od stopnia wykształcenia i czasu występowania zjawisk lodowych, aktualnej sytuacji anemologicznej. Inne jest oddziaływanie na rzeźbę niewielkiej miąższości lodu (np. 1 cm), łamiącego się na niewielkie płytki w miejscu kontaktu z materiałem wybrzeża, a inne w przypadku dotarcia do brzegu tafli lodowej o dużej powierzchni i miąższości. Siła mechanicznego oddziaływania na materiał budujący brzeg jest w drugim przypadku zdecydowanie większa. Obserwacje terenowe wykazały, że największe zmiany w morfologii powodowane przez oddziaływanie lodu powstają w okresie wiosennych roztopów, gdy materiał budujący wybrzeże uległ już odmarznięciu, a na powierzchni jeziora znajdują się pływające tafle (lub tafle lodu) tylko nieznacznie mniejsze powierzchniowo od powierzchni zbiornika. Nawet niewielki podmuch wiatru jest w stanie wprawić w ruch taką tafelę lodową, której natarcie na wybrzeże powoduje jego destabilizację (niszczenie) tym większą, im większa jest zwięzłość materiału, który buduje brzeg (może ona wynikać z naturalnej zwięzłości litologicznej lub okresowej — związanej z występowaniem przymrozków). Generalizując, w sprzyjających warunkach anemologicznych pokrywa lodowa jest czynnikiem (w różnym stopniu) wpływającym na morfogenezę wybrzeża badanych zbiorników, tworząc okresowo istniejące lub trwałe formy w rzeźbie brzegów. W obrębie wybrzeży płaskich obserwowano formy (wały brzegowe, przemieszczone pokrywy piaszczyste, bezładne przemieszczenia materiału brzegowego) powstałe w wyniku abrazji lodowej. Ów proces związany jest z aktywnością (naporem) pokryw lodowych (o różnej grubości i powierzchni), która wynika z ich przemieszczania w kierunku zgodnym z aktualną sytuacją anemologiczną. W zasięgu wybrzeży wysokich oddziaływanie pokrywy lodowej ogranicza się do destabilizacji brzegu, bez wyraźnego zapisu tego procesu w rzeźbie. Przy rozpatrywaniu roli pokrywy lodowej w ewolucji morfologicznej mis jeziornych należy wspomnieć o jej znaczeniu w transporcie budulca osadów dennych, rozumianego jako materiał dostarczany z zewnątrz. Źródłem dostarczanego z zewnątrz materiału jest atmosfera (opad pyłów) oraz otoczenie zbiornika, skąd jest transportowany w wyniku procesów eolicznych lub przemieszczeń o charakterze antropogenicznym. Niezależnie od źródła jest on deponowany na powierzchni lodu i często z kilkumiesięcznym opóźnieniem dostarczany do toni wodnej, gdzie podlega dalszej migracji i jako zawiesina opada na dno, stanowiąc budulec osadów dennych (Rzętała, 2003).

Ważnym uwarunkowaniem hydrologicznym przemian geomorfologicznych mis zbiornikowych jest żyzność wody retencjonowanej w zbiornikach wodnych. Jej niekontrolowany wzrost, utożsamiany z rozwojem procesów eutrofizacyjnych, stwierdza się głównie na obszarach o wyraźnych wpływach antropogenicznych z powodu zwiększonej dostawy substancji biogennych. Intensyfikacja eutrofizacji w konsekwencji prowadzi do spłykania, a następnie zaniku misy jeziornej (Kajak, 1998; Marszelewski, 2005; Choiński, 2007). Żyzność kształtuje tempo dostawy materii autochtonicznej do osadów dennych. Wpływa ona bezpośrednio na możliwości rozwoju procesów brzegowych, utożsamianych z zarastaniem. Tym samym żyzność wpływa na kształtowanie warunków wypłykania. Z. Kajak (1995) wspomina

też o możliwości wytworzenia w zbiornikach 1 tony świeżej masy glonów przy obecności 1 kg fosforu, a tzw. zakwity glonów są możliwe w nizinnych zbiornikach zaporowych przy zawartości fosforu wynoszącej zaledwie 20—30 $\mu\text{g P/dm}^3$. Zbiorniki wodne są swoistym polem transformacji allochtonicznej masy materiału, w powstającą przy jej udziale oraz światła i roztworów masę autochtonicznego materiału.

Często stosowanym indykatorem, wykorzystywanym do określania stanu troficznego wód stojących jest chlorofil α (Carlson, 1977; Walker, 1979). Określenie jego stężenia pozwala na ocenę potencjalnej produktywności pierwotnej ekosystemu i jest ściśle związane ze stanem troficznym wód (Kajak, 1998). Wartości stężeń chlorofilu α w wodach zbiorników regionu górnośląsko-zagłębiowskiego wykazywały duże zróżnicowanie pomiędzy poszczególnymi zbiornikami oraz w poszczególnych miesiącach badawczego sezonu. Największa koncentracja chlorofilu α występowała zwykle w okresie późnej wiosny i w czasie lata, gdy przekraczała nawet $150 \mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Rzętała i in., 2014). Wiązało się to z tzw. zakwitami glonów, który powodował znaczne przesylenie tlenem wód epilimnionu. Dużo niższe stężenia chlorofilu α notowano natomiast jesienią, po przekwitnięciu glonów, a zwłaszcza zimą podczas zalegania na zbiornikach pełnej pokrywy lodowej. Obecność lodu oraz zalegającej na nim warstwy śniegu może prowadzić do niemal zupełnego ograniczenia procesu fotosyntezy w wodzie (Prowse, Stephenson, 1986). Wówczas nawet w akwenach cechujących się znaczną żyznością wód stężenia chlorofilu α wynosiły średnio od kilku do kilkunastu $\mu\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Rzętała i in., 2014). Zahamowanie procesu fotosyntezy, w sytuacji braku dostaw tlenu z atmosfery, może prowadzić (w przypadku badanych akwenów) do rozwoju deficytu tlenowego, a co za tym idzie — do zimowego śnięcia ryb. Sytuacja taka miała miejsce w wielu niewielkich zbiornikach podczas zimy 2009/2010 (Solarski i in., 2011).

Stopień żyzności wód w regionie górnośląsko-zagłębiowskim jest zróżnicowany, a wynika przede wszystkim z oddziaływań antropogenicznych, chociaż w kilku przypadkach można mówić o *quasi*-naturalnym kształtowaniu składu chemicznego wody. Dotyczy to głównie nielicznych zbiorników oligotroficznych (np. Kuźnica Warężyńska) i dystroficznych (np. Ostroźnica). Zawartość substancji pożywkowych — zwłaszcza w zbiornikach oligotroficznych — jest znikoma, podobnie kształtuje się ich zawartość w zbiornikach dystroficznych. Nieco więcej jest akwenów z wodami mezotroficznymi (np. Pogoria III, Morawa, Chechło), a najwięcej zbiorników eutroficznych (np. Kozłowa Góra, Przeczyce). Są to obiekty, które pozostają w strefie oddziaływania antropopresji głównie rolniczej. W regionie górnośląsko-zagłębiowskim część zbiorników antropogenicznych ma żyzność odpowiadającą poziomowi określonemu mianem hipertrofii. Pozostają one w zasięgu oddziaływania zróżnicowanej i silnej antropopresji, najczęściej miejsko-przemysłowej w centralnej części regionu oraz z nakładającymi się wpływami działalności rolniczej na jego obrzeżach. Przykładem bardzo zanieczyszczonego obiektu o wodach odpowiadających hipertrofii jest zbiornik Brzeziny.

3.1.5. Uwarunkowania glebowe i biogeniczne

Uwarunkowania glebowe i biogeniczne odgrywają zróżnicowaną rolę w kształtowaniu przemian geomorfologicznych mis zbiorników wodnych. Rola ta zależy przede wszystkim od działań przygotowujących czaszę zbiornika do pełnienia funkcji akwenu.

Największą rolę uwarunkowania glebowe i biogeniczne odgrywają w kształtowaniu obrazu geomorfologicznego mis zaporowych i groblowych zbiorników wodnych, a także utworzonych w nieckach osiadania. W tych obiektach woda zostaje wprowadzona lub napływa spontanicznie bezpośrednio na podłoże ukształtowane na bazie utworów powierzchniowych, stanowiących jednocześnie środowisko dla wzrostu i rozwoju roślin. Z reguły jest to środowisko dużo żyzniejsze od jałowych powierzchni pozbawionych nadkładu utworów powierzchniowych wyrobisk poeksploatacyjnych. Kryterium takich obiektów spełnia zbiornik Ostroźnica, utworzony przez spiętrzenie wód niewielkiego strumienia groblą nasypu drogowego, zatopienie torfów na całej powierzchni zbiornika i ich podtopienie na obrzeżu zbiornika. Inny przykład to zbiornik w rozlewisku Bobrka w Sosnowcu Klimontowie, gdzie w niecce osiadania zakumulowane zostało rumowisko z silnie zmienionej antropogenicznie zlewni. Wody alimentujące zbiornik zasobne są w substancje pożywkowe, które w obrębie rozlewiska zapewniają bujny rozwój roślinności.

W przypadku zbiorników poeksploatacyjnych uwarunkowania glebowe i biogeniczne — w związku z usunięciem nadkładu w procesie przygotowania pola eksploatacyjnego — są wyraźnie zminimalizowane i odgrywają większą rolę jedynie na krańcach misy, kształtując charakter procesów brzegowych. Usunięcie pokryw glebowej i roślinnej wpływa zwykle na wyraźne obniżenie żyzności wód i osadów potencjalnego zbiornika wodnego w miejscu odkrywki poeksploatacyjnej, a osady denne takiego zbiornika pozostają pod wpływem utworów geologicznych zalegających w podłożu misy. Akwenum o takich właśnie uwarunkowaniach jest tzw. zbiornik Koparki w Jaworznie (rys. 15) i praktycznie wszystkie inne zbiorniki poeksploatacyjne.

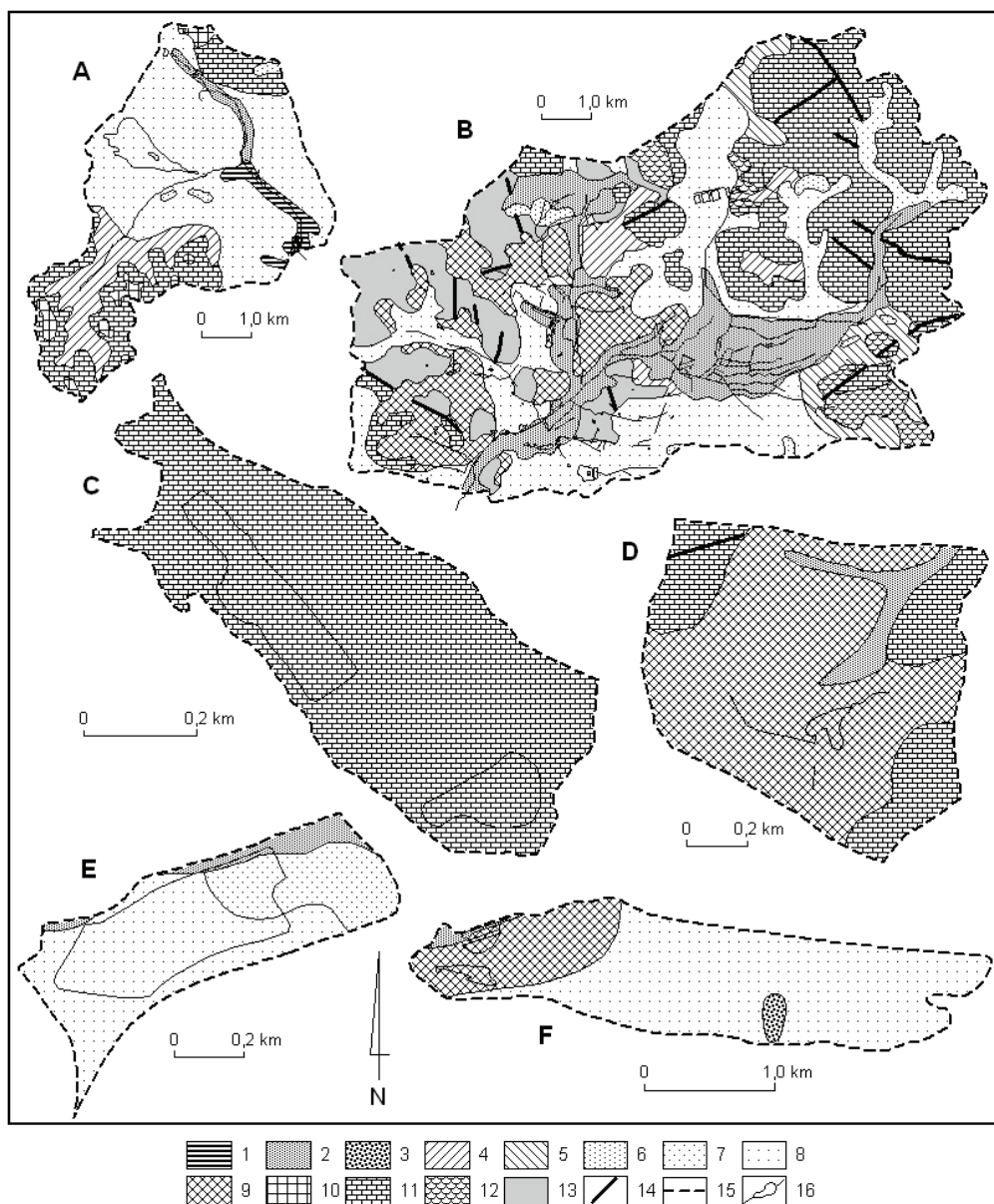
Skutkiem przekształceń środowiska przyrodniczego jest zanieczyszczenie gleb i wykształcenie tzw. gleb antropogenicznych, często wykazujących wiele podobieństw do składowanych w sąsiedztwie osadów o podobnym pochodzeniu (w przypadku braku cech zainicjowanych procesów glebotwórczych na powierzchni takich osadów wypada definiować je po prostu jako grunty). Takie grunty (ewentualnie z glebami antropogenicznymi) stanowią niejednokrotnie podłoże mis zbiorników wodnych. Przykładem jest chociażby zbiornik Brzeziny w Piekarach Śląskich z dnem usłanym materiałem przemieszczonym z sąsiedniej hałdy odpadów hutniczych cynku i ołowiu oraz przeobrażonym sedymentologicznie w procesie depozycji. W obrębie misy zbiornika Hubertus II składowane były odpady ze znajdującej się w sąsiedztwie huty metali nieżelaznych. Zbiornik przy autostradzie w Zabrze Makoszowach ma misę w strefie brzegowej podścieloną odpadami wydobywczymi i przeróbczymi górnictwa węgla kamiennego.

Złożoność procesów warunkujących przemiany geomorfologiczne mis zbiorników wodnych w regionie najlepiej oddają przykłady akwenów, które od momentu utworzenia podlegały przemianom funkcjonowania zlewni w warunkach zróżnicowania utworów powierzchniowych (rys. 16). Przykładowo można wymienić zlewnię Potoku Leśnego w Katowicach, w której mimo jednorodności utworów powierzchniowych znajduje się wiele osadów antropogenicznych. Inny przykład dotyczy zbiorników noszących zbiorczą nazwę Żabie Doły, które utworzyły się na podłożu utworów plejstoceniowych, chociaż przyczyna osiadania genetycznie związana jest z niżej położonymi utworami karbońskimi. Zbiorniki te powstały na obszarze odkształconym przez górnictwo podziemne oraz hutnictwo cynku i ołowiu na terenach wykorzystywanych rolniczo, sąsiadujących z rozrastającymi się obszarami niskiej zabudowy, okresowo mających cechy zagospodarowania typowego dla pogranicza polsko-niemieckiego. Obecnie istnieją one pośród składowisk odpadów poflotacyjnych, terenów komunikacyjnych, gruntów rolnych i nieużytków, stanowiąc cenną kompozycję przyrodniczo-krajobrazową, która podlega prawnej ochronie.

Ważnym uwarunkowaniem rozwoju procesów brzegowych, a także formowania osadów dennych — przy udziale akumulacji materiału dostarczanego z abrazji brzegów — jest roślinność porastająca nadwodne i zatopione fragmenty brzegu (rys. 17). Część brzegów jest odkryta, tzn. pozbawiona kolonizującej je roślinności (zasadniczo z wyjątkiem glonów i pojedynczych okazów innych roślin, występujących na plaży). Pozostałe typy brzegów wyróżnionych pod względem stopnia pokrycia przez roślinność to: trawiaste, szuwarowe, krzewiaste i drzewiaste, umocnione antropogenicznie, szuwarowo-drzewiaste, umocnione antropogenicznie z roślinnością trawiastą, umocnione antropogenicznie z roślinnością szuwarową, trawiasto-drzewiaste i szuwarowo-trawiaste.

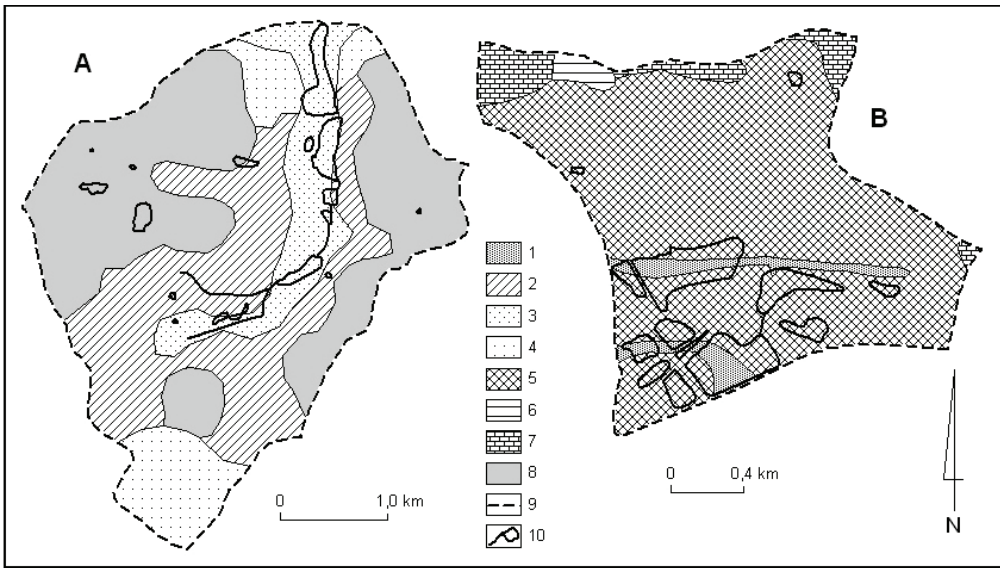
W obrębie zbiorników wodnych objętych badaniami na łączną długość brzegów, wynoszącą 192,8 km, najwięcej przypadało na brzegi z roślinnością krzewiastą i drzewiastą (37,9 km, tj. 19,7%), brzegi antropogenicznie umocnione z roślinnością szuwarową (34,4 km, tj. 17,8%), tzw. brzegi szuwarowe (30,0 km, tj. 15,6%) oraz szuwarowo-drzewiaste (26,3 km, tj. 13,7%). Mniejszym udziałem charakteryzowały się brzegi: trawiaste (19,8 km, tj. 10,3%), umocnione antropogenicznie (16,7 km, tj. 8,6%), tzw. odkryte (9,6 km, tj. 5,0%), szuwarowo-trawiaste (9,1 km, tj. 4,7%), trawiasto-drzewiaste (8,6 km, tj. 4,5%) i trawiaste z umocnieniami antropogenicznymi (0,3 km, tj. 0,1%).

Największym udziałem brzegów odkrytych charakteryzuje się zbiornik Chechło, ponieważ stanowią one aż 2,2 km (tj. 38,1%) długości brzegów tego akwenu. Największą długość brzegów trawiastych ma zbiornik Dzierżno Duże (8,3 km, co stanowi 49,9% długości jego brzegów), ale największy odsetek tych brzegów ma zbiornik Przetok (73,2%, co stanowi zaledwie 0,4 km). Najwięcej brzegu pokrytego roślinnością szuwarową występuje przy zbiorniku Kozłowa Góra (6,2 km, tj. 60,9% długości), ale największy odsetek takich brzegów ma zbiornik w Sławkowie (71,5%, tj. 0,4 km). Największym udziałem brzegów pokrytych roślinnością krzewiasto-drzewiastą charakteryzują się zbiorniki Łęczok, ponieważ brzegi tego typu stanowią aż 14,4 km, tj. 84,1% całej długości brzegów tego kompleksu wodnego. Brzegi trwale umocnione antropogenicznie na największej długości występują



Rys. 15. Przykład zlewni zbiorników wodnych o zróżnicowanej roli uwarunkowań glebowych i biogenicznych w przemianach geomorfologicznych mis jeziornych (wg: Szczegółowa mapa geologiczna..., 1955, 1956, 1999; Mapa geologiczna..., 1979, 1980):

1 – torfy (holocen), 2 – namuły, mułki i piaski rzeczne (holocen), 3 – piaski jeziorne w stropie zwykle humusowe (holocen), 4 – eluwia glin zwalowych (czwartorzęd), 5 – piaski i gliny deluwialne (czwartorzęd), 6 – piaski eoliczne w wydmach (czwartorzęd), 7 – mady, mułki, piaski i żwiry rzeczne (plejstocen), 8 – piaski i żwiry wodnolodowcowe (plejstocen), 9 – gliny zwalowe, gliny pylaste (plejstocen), 10 – żwiry, zlepienie, piaski, iły i glinki ogniotrwale (jura), 11 – wapienie, margle, dolomity, dolomity kruszczone i diploporowe, piaskowce, ilowce, mułowce (trias), 12 – zlepienie myślachowickie, mułowce, arkozy (perm), 13 – ilowce, mułowce, piaskowce, węgiel kamienny, wapienie z marglami i krystaliczne (karbon), 14 – uskoki, 15 – granice zlewni, 16 – ciek i zbiorniki wodne (A – Zbiornik Ostrożnica, B – rozlewnisko Bobrka, C – zbiornik Koparki, D – zbiornik Brzeziny, E – zbiornik Hubertus II, F – zbiornik w Zabrze-Makoszowach).



Rys. 16. Przykład zlewni zbiorników wodnych zróżnicowanych pod względem występowania utworów powierzchniowych i obciążenia antropogenicznego (wg: Szczegółowa mapa geologiczna..., 1955, 1960; Mapa geologiczna..., 1979, 1980):

1 – osady rzeczne w ogólności (holocen), 2 – eluvia glin zwałowych (czwartorzęd), 3 – mulki, piaski i żwiry rzeczne (czwartorzęd), 4 – piaski i żwiry wodnolodowcowe (czwartorzęd), 5 – gliny zwałowe (plejstocen), 6 – ily szare wapienste (trzeciorzęd), 7 – dolomity diploporowe i margliste (trias), 8 – ilowce, piaskowce, mułowce, węgiel kamienny, warstwy zaślepie (karbon), 9 – granice zlewni, 10 – ciek i zbiorniki wodne (A – Potok Leśny po profil ujęcia ze zbiornika Łąka, B – zlewnia zbiorników Zabie Doły).

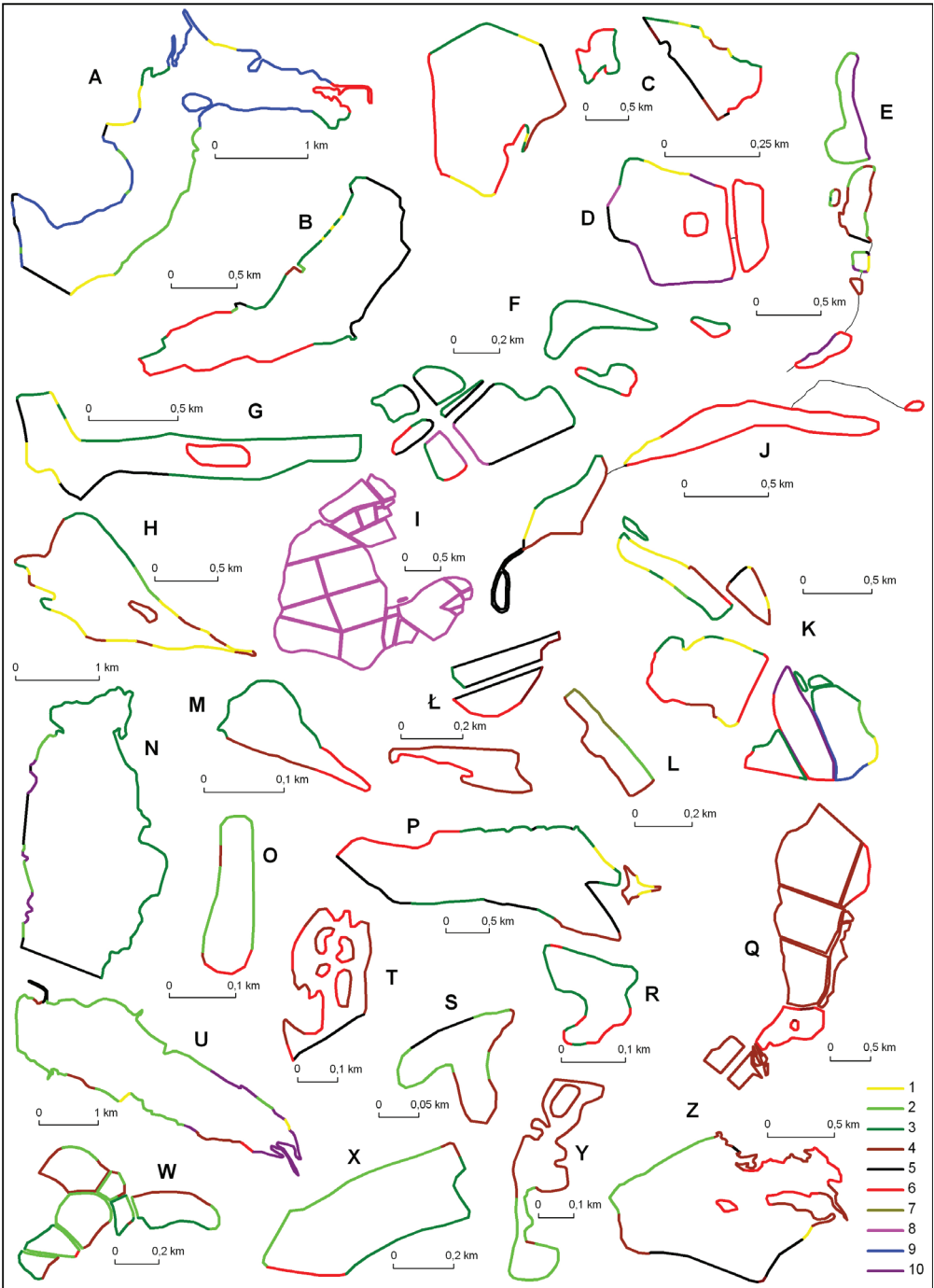
Fig. 16. Examples of catchments of water bodies differentiated with respect to the presence of surface formations and human pressure (after Szczegółowa mapa geologiczna... 1955, 1960; Mapa geologiczna... 1979, 1980):

1 – fluvial sediments in general (Holocene), 2 – boulder clay eluvia (Quaternary), 3 – fluvial loams, sands and gravels (Quaternary), 4 – glaciofluvial sands and gravels (Quaternary), 5 – boulder clays (Pleistocene), 6 – gray calcareous clays (Tertiary), 7 – Diplopora and marly dolomites (Triassic), 8 – claystones, sandstones, mudstones, hard coal, Załęże Beds (Carboniferous), 9 – catchment boundaries, 10 – watercourses and water bodies (A – Leśny Stream down to the outlet from the Łąka water body, B – catchment of the Zabie Doły water bodies).



Fig. 15. Examples of water body catchments with different contributions of soil and biogenic factors to the geomorphological transformations of limnic basins (after Szczegółowa mapa geologiczna... 1955, 1956, 1999; Mapa geologiczna... 1979, 1980):

1 – peats (Holocene), 2 – fluvial silts, loams and sands (Holocene), 3 – limnic sands in the top layer, usually humic (Holocene), 4 – boulder clay eluvia (Quaternary), 5 – deluvial sands and clays (Quaternary), 6 – eolian sands in dunes (Quaternary), 7 – alluvial soils, fluvial loams, sands and gravels (Pleistocene), 8 – glaciofluvial sands and gravels (Pleistocene), 9 – boulder clays, dusty clays (Pleistocene), 10 – gravels, conglomerates, sands, clays and fire clays (Jurassic), 11 – limestones, marls, dolomites, ore-bearing dolomites, Diplopora dolomites, sandstones, claystones, mudstones (Triassic), 12 – Myślachowice conglomerates, mudstones, arkoses (Permian), 13 – claystones, mudstones, sandstones, hard coal, limestones with marls and crystalline limestones (Carboniferous), 14 – faults, 15 – catchment boundaries, 16 – watercourses and water bodies (A – Ostroźnica water body, B – area inundated by the Bobrek Stream, C – so-called Koparki water body, D – Brzeziny water body, E – Hubertus II water body, F – water bodies in Zabrze-Makoszowy).



przy zbiorniku Pławniowice (2,2 km), ale największy ich odsetek dotyczy zbiornika w Zabrze Makoszewach (34,8%, tj. 0,9 km). Pokrycie brzegów roślinnością szuwarowo-drzewiastą jest domeną zbiorników Pogoria, gdzie dotyczy ono aż 4,3 km (tj. 34,5%) brzegów, ale największy odsetek długości takich brzegów ma zbiornik Balaton (55,5%, tj. 1,0 km). Pozostałe typy brzegów mieszanych pod względem stopnia pokrycia przez roślinność występują w obrębie nielicznych akwenów, aczkolwiek w przypadku zbiorników Wielikąt roślinność szuwarowa brzegów antropogenicznych występuje na całej ich długości (33,9 km).

3.2. Uwarunkowania społeczno-gospodarcze

Omawiany obszar cechuje występowanie ważnych surowców mineralnych: węgla kamiennego, rud cynku i ołowiu, obecnie już nieeksploatowanych rud żelaza, piasków, żwirów, dolomitów itd. Rudy cynku i ołowiu oraz żelaza eksploatowano już we wczesnym średniowieczu, a węgiel kamienny — od końca XVIII wieku. Wraz z wydobywaniem tych surowców zaczęło rozwijać się hutnictwo żelaza oraz metali kolorowych, a także inne gałęzie przemysłu przetwórczego. Na obrzeżach terenów zurbanizowanych i uprzemysłowionych rozwinęła się działalność rolnicza, jednak miała i ma ona dużo mniejsze znaczenie wobec olbrzymiego potencjału przemysłowego regionu, zwłaszcza górnictwa, przemysłu paliwowo-energetycznego i hutnictwa.

Trwające na tym obszarze kilka wieków eksploatacja surowców mineralnych, rozwój przemysłu przetwórczego, procesy urbanizacyjne i napływ ludności stały się przyczyną antropogenicznych zmian środowiska przyrodniczego (Żmuda, 1973; Duś i in., 2008; Szajnowska-Wysocka, Zuzanska-Zysko, 2013). Nie trudno o nie w obszarze o bardzo dużej gęstości zaludnienia — w centralnej części konurbacji

←

Rys. 17. Rodzaje brzegów badanych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (A–Z) według kryterium stopnia pokrycia przez roślinność (1–10):

Zbiorniki: **A** – Przeczyce, **B** – Paprocany, **C** – Pogoria, **D** – Balaton, **E** – w zlewni Potoku Leśnego, **F** – Zabie Doły, **G** – Sosina, **H** – Chechło, **I** – Wielikąt, **J** – Rogoźnik, **K** – u ujścia Rawy do Brynicy, **L** – Koparki, **M** – Czeladź Norwida, **N** – Kozłowa Góra, **O** – Przetok, **P** – Pławniowice i Mały Zalew, **Q** – Łęczczok, **R** – Sławków, **S** – Brzeziny, **T** – Ostroźnica, **U** – Dzierżno Duże, **W** – Kradziejówka, **X** – Hubertus II, **Y** – Kazimierz, **Z** – Dzierżno Małe; Brzegi: 1 – odkryte tj. plażowe, 2 – trawiaste, 3 – szuwarowe, 4 – krzewiaste i drzewiaste, 5 – umocnione antropogenicznie, 6 – szuwarowo-drzewiaste, 7 – umocnione antropogenicznie z roślinnością trawiastą, 8 – umocnione antropogenicznie z roślinnością szuwarową, 9 – trawiasto-drzewiaste, 10 – szuwarowo-trawiaste.

Fig. 17. Shores of the water bodies examined in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region classified according to the extent of their coverage by vegetation (1–10):

Water bodies: **A** – Przeczyce, **B** – Paprocany, **C** – Pogoria, **D** – Balaton, **E** – within the Potok Leśny Stream catchment, **F** – Zabie Doły, **G** – Sosina, **H** – Chechło, **I** – Wielikąt, **J** – Rogoźnik, **K** – at the location where the Rawa River enters the Brynica River, **L** – Koparki, **M** – Czeladź Norwida, **N** – Kozłowa Góra, **O** – Przetok, **P** – Pławniowice and Mały Zalew, **Q** – Łęczczok, **R** – Sławków, **S** – Brzeziny, **T** – Ostroźnica, **U** – Dzierżno Duże, **W** – Kradziejówka, **X** – Hubertus II, **Y** – Kazimierz, **Z** – Dzierżno Małe; Shores: 1 – uncovered by vegetation (beaches), 2 – grass, 3 – rushes, 4 – shrubs and trees, 5 – artificially reinforced, 6 – rushes and trees, 7 – artificially reinforced with grass, 8 – artificially reinforced with rushes, 9 – grass and trees, 10 – rushes and grass.

katowickiej wynosi ona ponad 4 tys. os./km². Apogeum tych zmian wystąpiło w latach 70. XX wieku, jednak i współcześnie środowisko nie jest pozbawione występowania przekształceń antropogenicznych. Zmiany, które w nim zachodzą dotyczą: budowy geologicznej i rzeźby terenu, klimatu, stosunków wodnych, gleb, szaty roślinnej oraz świata zwierząt. Ich efektem natomiast są zbiorniki wodne. Pojawiły się one w krajobrazie w konsekwencji przemian społeczno-gospodarczych zachodzących w regionie.

Obecnie w regionie górnośląsko-zagłębiowskim istnieje kilka tysięcy sztucznych zbiorników wodnych, które są wynikiem celowych zabiegów hydrotechnicznych lub niezamierzonym efektem aktywności gospodarczej, a jeziora jako misy naturalne występują nielicznie (Rzętała, 2008). Morfologiczna ewolucja mis tych zbiorników wodnych jest więc procesem przyrodniczym zainicjowanym przez człowieka oraz pozostającym pod wpływem przemian generowanych przez jego działalność. Jest to więc obszar wielowiekowej działalności gospodarczej, a omawiane zbiorniki wodne funkcjonują w warunkach silnej, aczkolwiek zróżnicowanej antropopresji. Najczęściej jest to antropopresja miejsko-przemysłowa, w innych przypadkach — rolnicza, najrzadziej natomiast występują warunki określane mianem *quasi*-naturalnych (tab. 2).

Zlewnie badanych zbiorników wodnych są zróżnicowane pod względem wielkości i głównych form użytkowania, chociaż nie jest to w pełni miarodajne odzwierciedlenie wpływów antropogenicznych. Pod względem powierzchni wyróżniają się obszary zasilania zbiorników Dzierżno Duże (542,5 km²) i Przeczyce (296,2 km²), a także zlewnia Brynicy po profil ujścia ze zbiornika Kozłowa Góra (206,1 km²). Charakteryzują się one zróżnicowanym udziałem głównych form użytkowania terenu. Największa z tych zlewni obejmuje tereny zurbanizowane i uprzemysłowione zachodniej części Wyżyny Śląskiej, a dwie pozostałe charakteryzuje nieco większy udział obszarów wykorzystywanych rolniczo i rolniczych nieużytków, przy podobnym odsetku powierzchni leśnych (rys. 18).

Uwzględniając największy udział powierzchni lasów i zadrzewień w obrębie zlewni, na pierwszy plan wysuwa się kilka zbiorników (rys. 19). Są to akwenu: w Zabrze Makoszowach (87,1%), Sosina (72,2%), Balaton (60,9%), Kazimierz (50,0%) i Paprocany (47,5%). Pierwsze cztery mają zlewnie o niewielkiej powierzchni, natomiast ostatni ze zbiorników charakteryzuje się obszarem zasilania rzędu 130 km².

Największym procentowo udziałem gruntów rolnych i nieużytków rolniczych cechują się zlewnie zbiorników (rys. 20): Czeladź Norwida (80,0%), Dzierżno Małe (79,0%), Pławniowice (71,9%), Łęczok (68,3%) i Rogoźnik (68,2%). Są one bardziej zróżnicowane, jeśli chodzi o bezwzględnych powierzchni lasów, których najwięcej jest w obszarze alimentującym zbiornik Dzierżno Małe (103,2 km²), a następnie w zlewni Potoku Toszeckiego (85,6 km²), przy dużo mniejszych arealach w przypadku pozostałych obiektów.

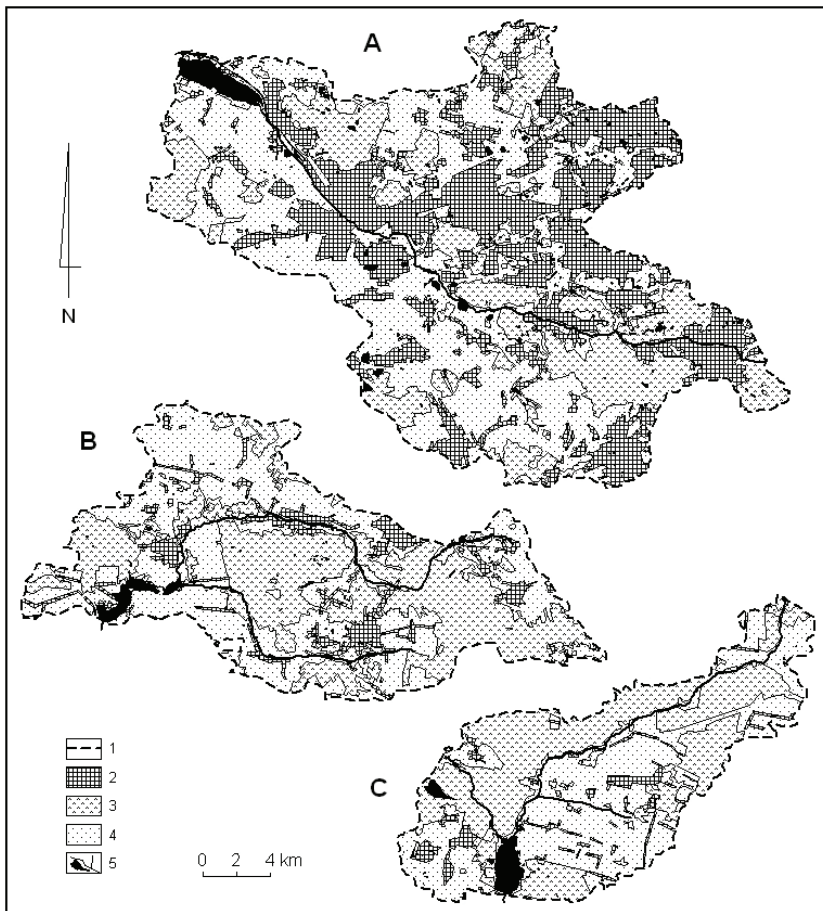
Powierzchnia terenów uprzemysłowionych i zurbanizowanych (w tym nieużytków przemysłowych) w analizowanych zlewniach jest reprezentowana zakresem od blisko 0 km² (zlewnia zbiornika Czeladź Norwida) do 172 km² (zlewnia zbiornika

Tabela 2. Użytkowanie gruntów w zlewniach zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego objętych badaniami geomorfologicznymi
 Table 2. Land use in the catchments of the water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region covered by geomorphological studies

Zlewnia (z określeniem profilu zamykającego) Catchment (with its outlet specified)	Wody Water	Tereny zurbanizowane i uprzemysłowione Urban and industrial areas	Lasy Forest	Grunty użytkowane rolniczo i nieużytki Agricultural land and wasteland	Wody Water	Tereny zurbanizowane i uprzemysłowione Urban and industrial areas	Lasy Forest	Grunty użytkowane rolniczo i nieużytki Agricultural land and wasteland	Udział w powierzchni zlewni w % Share of catchment area in %			Powierzchnia zlewni Catchment area km ²	
									2	3	4		5
I													
Kłodnica po profil ujścia ze zbiornika Dzierżno Duże Kłodnica River down to the outlet from the Dzierżno Duże water body	10,5	172,0	127,2	232,8	1,9	31,7	23,4	42,9				542,5	
Drama po profil ujścia ze zbiornika Dzierżno Małe Drama River down to the outlet from the Dzierżno Małe water body	1,4	12,7	13,3	103,2	1,1	9,7	10,2	79,0				130,6	
Pogoria po profil ujścia ze zbiornika Pogoria III Pogoria Stream down to the outlet from the Pogoria III water body	3,0	5,8	9,9	3,8	13,5	25,9	44,0	16,7				22,6	
Zlewnia zbiorników u ujścia Rawy do Brynicy Catchment of water bodies where the Rawa River flows into the Brynica River	1,0	1,6	0,3	0,2	33,0	51,3	9,9	5,8				3,1	
Zlewnia zbiornika Hubertus II Catchment of the Hubertus II water body	0,1	0,2	0,0	0,0	21,2	63,6	3,0	12,1				0,3	
Zlewnia zbiornika Sosina Catchment of the Sosina water body	0,4	0,0	1,8	0,3	15,9	1,2	72,2	10,6				2,5	
Potok Toszecki (ujście ze zbiornika Pławniowice) Toszecki Stream (outlet from the Pławniowice water body)	3,0	4,7	25,8	85,6	2,5	3,9	21,7	71,9				119,1	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jaworznik po profil ujęcia ze zbiornika Rogoźnik Jaworznik Stream down to the outlet from the Rogoźnik II water body	0,3	0,7	4,1	10,9	2,1	4,1	25,5	68,2	15,9
Zlewnia zbiornika Balaton Catchment of the Balaton water body	0,1	0,3	0,6	0,0	9,8	29,3	60,9	0,0	0,9
Zlewnia zbiornika Czeladź Norwida Catchment of the Czeladź Norwida water body	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	80,0	0,1
Potok Leśny po profil ujęcia ze zbiornika Łąka Leśny Stream down to the outlet from the Łąka water body	0,4	5,3	5,4	0,8	3,3	44,7	45,7	6,3	11,9
Zlewnia zbiornika Kazimierz Catchment of the Kazimierz water body	0,1	0,1	0,2	0,1	12,5	12,5	50,0	25,0	0,4
Zlewnia zbiornika Gliniok Catchment of the Gliniok water body	0,0	0,1	0,0	0,0	18,5	65,4	16,0	0,0	0,1
Zlewnia zbiornika Koparki Catchment of the Koparki water body	0,1	0,2	0,1	0,0	16,1	67,7	16,1	0,0	0,3
Zlewnia zbiornika Amendy Catchment of the Amendy water body	0,0	0,1	0,2	0,1	4,1	16,1	47,4	32,4	0,3
Zlewnia zbiornika w Piekarach Śląskich — Brzeziny Catchment of the water body in Piekary Śląskie — Brzeziny	0,0	0,6	0,0	0,3	1,1	62,0	1,1	35,9	0,9
Brynica po profil ujęcie ze zbiornika Kozłowa Góra Brynica River down to the outlet from the Kozłowa Góra water body	5,0	11,0	90,1	100,0	2,4	5,3	43,7	48,5	206,1
Czarna Przemsza (ujęcie ze zbiornika Przeczycze) Czarna Przemsza River (outlet from the Przeczycze water body)	3,7	27,6	118,5	146,4	1,2	9,3	40,0	49,4	296,2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gostynka po profil ujęcie ze zbiornika Paprocany Gostynka down to the outlet from the Paprocany water body	2,6	15,6	63,1	51,5	2,0	11,7	47,5	38,8	132,7
Zlewnia zbiorników Żabie Doły Catchment of the Żabie Doły water bodies	0,4	1,2	0,0	1,7	12,0	36,7	0,0	51,2	3,2
Zlewnia Bobrka po profil Klimontów Catchment of the Bobrek Stream down to the Klimontów profile	0,5	27,9	21,9	31,7	0,6	34,1	26,7	38,6	81,9
Zlewnia zbiorników w Zabrze Makoszowy Catchment of the water bodies in Zabrze Makoszowy	0,1	0,1	2,7	0,2	2,6	4,5	87,1	5,8	3,1
Zlewnia zbiornika Przy Leśnej Catchment of the Przy Leśnej water body	0,0	0,2	0,3	0,1	0,6	3,5	25,1	50,7	20,8
Zlewnia zbiornika w Sławkowie Catchment of the water body in Sławków	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	0,0	60,0	0,1
Zlewnia zbiorników Kradziejówka Catchment of the Kradziejówka water body	0,2	1,0	0,0	2,2	6,0	29,9	0,0	64,1	3,5
Zlewnia zbiorników Wielikąt Catchment of the Wielikąt water body	3,6	0,8	0,1	1,7	57,0	13,4	1,8	27,8	6,3
Zlewnia zbiorników Łęczczok Catchment of the Łęczczok water body	2,4	2,7	8,3	28,9	5,7	6,4	19,6	68,3	42,3
Zlewnia zbiornika w okolicach Harmęża Catchment of the water body in the vicinity of Harmęża	1,1	1,2	0,4	5,7	13,1	14,3	4,8	67,9	8,4
Zlewnia zbiornika Przetok Catchment of the Przetok water body	0,0	0,1	0,0	0,1	4,2	37,5	0,0	58,3	0,2



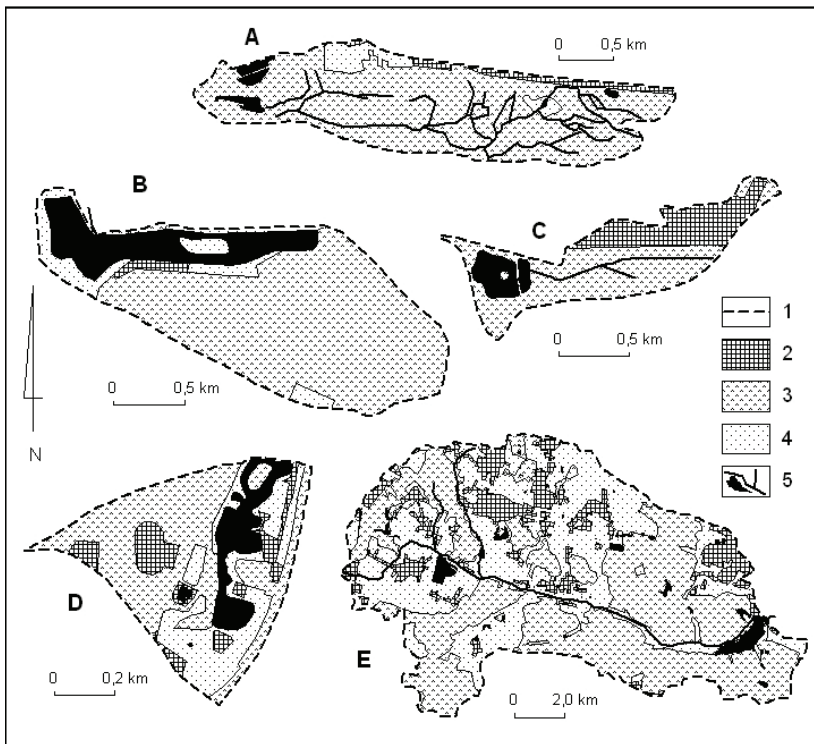
Rys. 18. Główne formy użytkowania terenu w zlewni Kłodnicy po profil ujścia ze zbiornika Dzierżno Duże (A), Czarnej Przemszy po profil ujścia ze zbiornika Przeczycze (B) i Brynicy po profil ujścia ze zbiornika Kozłowa Góra (C):

1 – granice zlewni, 2 – tereny uprzemysłowione i zurbanizowane (w tym nieużytki przemysłowe), 3 – lasy i zadrzewienia (w tym roślinność krzewiasta i parkowa), 4 – tereny rolnicze (w tym nieużytki rolne), 5 – ciek i zbiorniki wodne.

Fig. 18. Main forms of land use in the Kłodnica River catchment down to the outlet from the Dzierżno Duże water body (A), of the Czarna Przemsza River catchment down to the outlet from the Przeczycze water body (B) and of the Brynica River down to the outlet from the Kozłowa Góra water body (C):

1 – catchment boundaries, 2 – industrial and urban areas (including industrial wasteland), 3 – forests and plantings (including shrubs and parks), 4 – agricultural land (including wasteland), 5 – watercourses and water bodies.

Dzierżno Duże), co przekłada się na udział procentowy sięgający od 0,0% do 31,7% powierzchni zlewni Kłodnicy po profil zbiornika. Największy odsetek terenów o miejsko-przemysłowym charakterze obecnego lub zarzuconego użytkowania dotyczy zlewni zbiorników (rys. 21): Koparki (67,7%), Gliniok w Katowicach-Ligocie (65,4%), Hubertus II (63,6%), Brzeziny w Piekarach Śląskich (62,0%) i zbiorników



Rys. 19. Główne formy użytkowania terenu w zlewni badanych zbiorników wodnych o największym udziale procentowym lasów i zadrzewień w powierzchni ogólnej:

1 – granice zlewni, 2 – tereny uprzemysłowione i zurbanizowane (w tym nieużytki przemysłowe), 3 – lasy i zadrzewienia (w tym roślinność krzewiasta i parkowa), 4 – tereny rolnicze (w tym nieużytki rolne), 5 – cieki i zbiorniki wodne (A – Makoszowy, B – Sosina, C – Balaton, D – Kazimierz, E – Paprocany).

Fig. 19. Main forms of land use in the catchments of examined water bodies with the highest percentages of forests and plantings in the total catchment area:

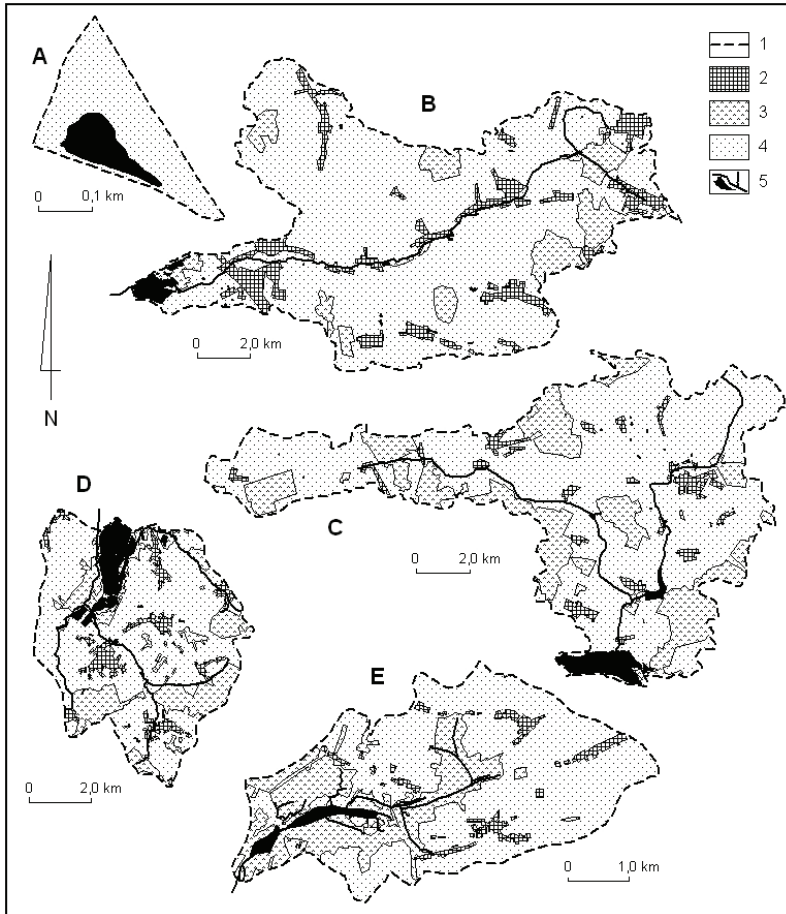
1 – catchment boundaries, 2 – industrial and urban areas (including industrial wasteland), 3 – forests and plantings (including shrubs and parks), 4 – agricultural land (including wasteland), 5 – watercourses and water bodies (A – Makoszowy, B – Sosina, C – Balaton, D – Kazimierz, E – Paprocany).

w widłach Brynicy i Rawy (51,3%). Są to jednak zlewnie o niewielkiej powierzchni, tj. od kilku dziesiątych km² do kilku km².

Istnieją również zbiorniki wodne o zlewniach charakteryzujących się względnie proporcjonalnym udziałem poszczególnych form użytkowania terenu (rys. 22). Są to zlewnie: Pogorii, po profil ujęcia ze zbiornika Pogoria III, Potoku Leśnego, po profil ujęcia ze zbiornika Łąka oraz Bobrka, po profil zbiorników w Sosnowcu Klimontowie. Pozostałe zlewnie również są zróżnicowane pod względem form użytkowania terenu, ale żadna z nich nie jest na tyle przeważająca, aby była dominującą. W większości są to zlewnie niewielkie powierzchniowo.

Uwarunkowania społeczno-gospodarcze przemian geomorfologicznych mis zbiorników wodnych to także bezpośrednie oddziaływanie ludzi na rzeźbę misy i jej wypełnianie. Kryterium takich działań spełnia likwidacja zagłębień zajmowanych przez zbiorniki przez ich osuszenie lub zasypanie gruntem. Podobnie można

traktować adaptację stref brzegowych i wyodrębnionych basenów mis zbiornikowych do pełnienia funkcji społeczno-gospodarczych.

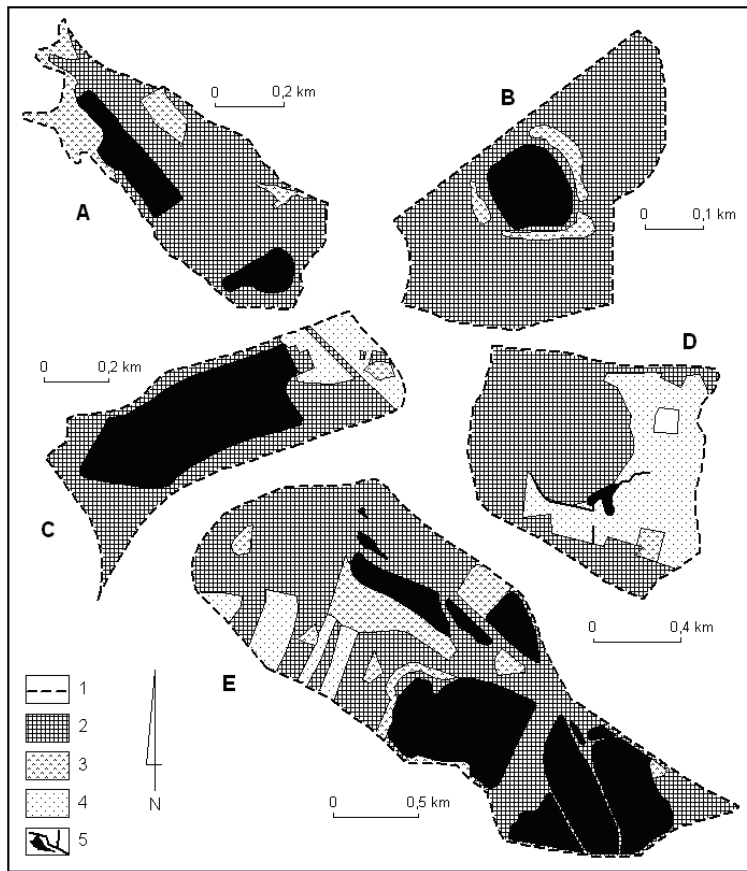


Rys. 20. Główne formy użytkowania terenu w zlewniach badanych zbiorników wodnych o największym udziale procentowym gruntów rolniczych w powierzchni ogólnej:

1 – granice zlewni, 2 – tereny uprzemysłowione i zurbanizowane (w tym nieużytki przemysłowe), 3 – lasy i zadrzewienia (w tym roślinność krzewiasta i parkowa), 4 – tereny rolnicze (w tym nieużytki rolne), 5 – cieki i zbiorniki wodne (A – Czeladź Norwida, B – Dzierżno Małe, C – Pławniowice, D – Łęczczok, E – Rogoźnik).

Fig. 20. Main forms of land use in the catchments of examined water bodies with the highest percentages of agricultural land in the total catchment area:

1 – catchment boundaries, 2 – industrial and urban areas (including industrial wasteland), 3 – forests and plantings (including shrubs and parks), 4 – agricultural land (including wasteland), 5 – watercourses and water bodies (A – Czeladź Norwida, B – Dzierżno Małe, C – Pławniowice, D – Łęczczok, E – Rogoźnik).

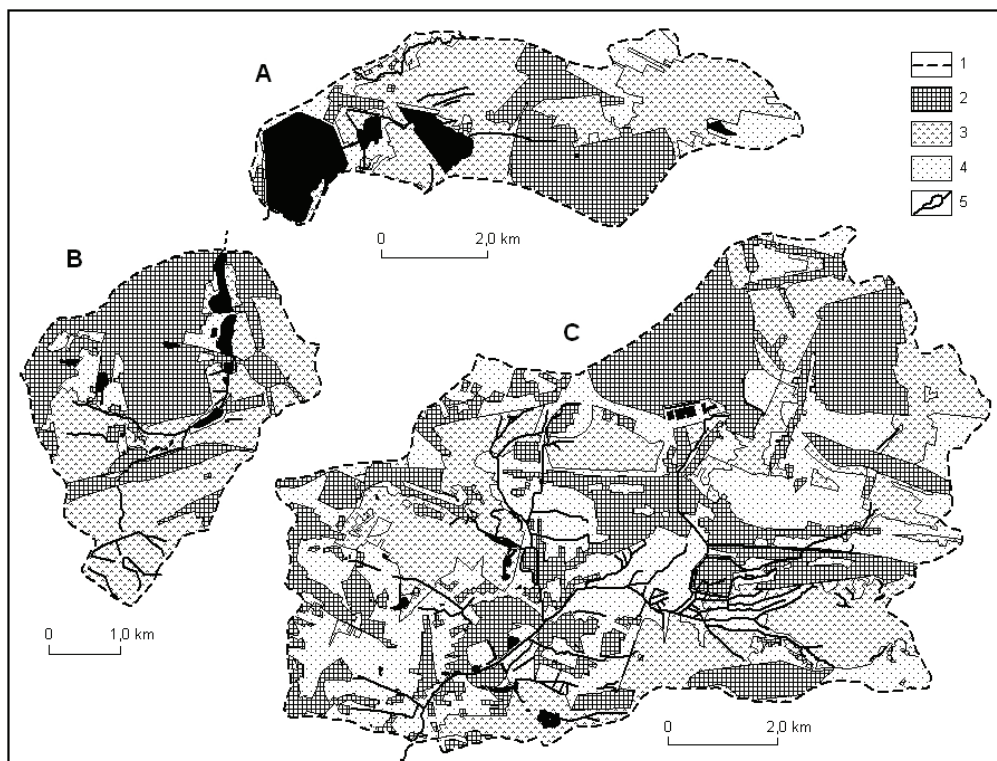


Rys. 21. Główne formy użytkowania terenu w zlewniach badanych zbiorników wodnych o największym udziale procentowym terenów uprzemysłowionych i zurbanizowanych w powierzchni ogólnej:

1 – granice zlewni, 2 – tereny uprzemysłowione i zurbanizowane (w tym nieużytki przemysłowe), 3 – lasy i zadrzewienia (w tym roślinność krzewiasta i parkowa), 4 – tereny rolnicze (w tym nieużytki rolne), 5 – ciek i zbiorniki wodne (A – Koparki, B – Gliniok, C – Hubertus II, D – Brzeziny, E – zbiorniki w widłach Brynicy i Rawy).

Fig. 21. Main forms of land use in the catchments of examined water bodies with the highest percentages of industrial and urban land in the total catchment area:

1 – catchment boundaries, 2 – industrial and urban areas (including industrial wasteland), 3 – forests and plantings (including shrubs and parks), 4 – agricultural land (including wasteland), 5 – watercourses and water bodies (A – Koparki, B – Gliniok, C – Hubertus II, D – Brzeziny, E – water bodies at the fork of the Brynica and Rawa Rivers).



Rys. 22. Główne formy użytkowania terenu w zlewniach Pogorii po profil ujęcia ze zbiornika Pogoria III (A), Potoku Leśnego po profil ujęcia ze zbiornika Łąka (B) i Bobrka po profil osiadań w Sosnowcu -Klimontowie (C):

1 – granice zlewni, 2 – tereny uprzemysłowione i zurbanizowane (w tym nieużytki przemysłowe), 3 – lasy i zadrzewienia (w tym roślinność krzewiasta i parkowa), 4 – tereny rolnicze (w tym nieużytki rolne), 5 – ciek i zbiorniki wodne.

Fig. 22. Main forms of land use in the Pogoria catchment down to the outlet from the Pogoria III water body (A), of the Potok Leśny Stream catchment down to the outlet from the Łąka water body (B) and of the Bobrek Stream catchment down to the subsidence profile in Sosnowiec-Klimontów (C):

1 – catchment boundaries, 2 – industrial and urban areas (including industrial wasteland), 3 – forests and plantings (including shrubs and parks), 4 – agricultural land (including wasteland), 5 – watercourses and water bodies.

4. Geomorfologiczne zmiany mis zbiornikowych

4.1. Sedymentacja w strefie kontaktu wód rzecznych i zbiornikowych

W geomorfologicznej ewolucji mis zbiornikowych ważną rolę odgrywa strefa kontaktu wód rzecznych i zbiornikowych, często utożsamiana z deltą lub obszarem rozległej akumulacji w sąsiedztwie ujścia cieków do akwenów wód stojących (w tej strefie akumulowany jest materiał denny oraz znacząca część zawiesiny — w tym zawiesiny po procesie agregacji). Delty jako stożki napływowe powstałe u ujścia rzeki do jeziora nie są klasycznymi formami limnicznymi, jednak środowiskiem ich sedymentacji jest krawędź misy zbiornika (Rzętała, 1998). Ich rozmiary uzależnione są od wielkości przepływu cieku i ilości transportowanego materiału. W większości badanych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim zbiorników wodnych są to niewielkie pod względem kubatury formy o powierzchni od kilku do kilkuset metrów kwadratowych i średniej miąższości, wynoszącej kilkanaście centymetrów. W zbiornikach zasilanych bardzo zanieczyszczonymi wodami cieków, które odwadniają tereny uprzemysłowione i zurbanizowane, powstają delty zbudowane ze zróżnicowanego granularnie materiału. Na powierzchni delt skolonizowanych przez roślinność zielną i krzewiastą dużą rolę, zwłaszcza z końcem kolejnych okresów wegetacyjnych, odgrywa proces sedentacji materii organicznej.

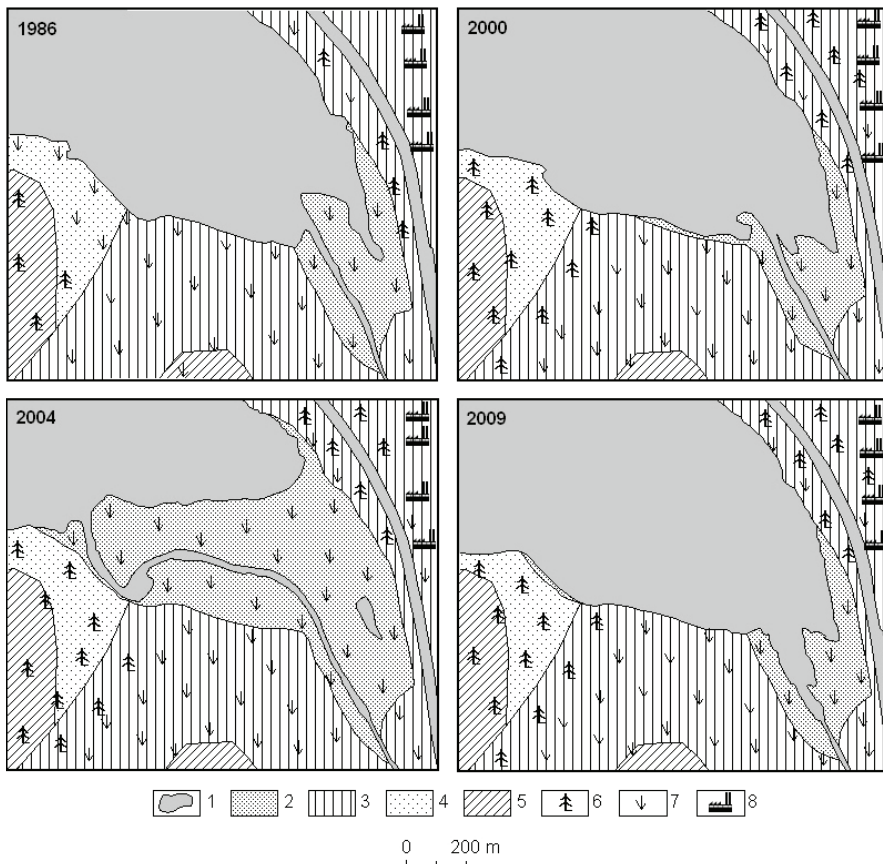
Delty lub strefy akumulacji tylko przypominające mało wyraźne morfologicznie stożki napływowe urozmaicają brzegi przede wszystkim w strefie dopływów zbiorników poeksploatacyjnych (np. Dzierżno Duże, Pogoria I, Pławniowice, Rogoźnik) i zbiorników zaporowych (np. Przeczyce, Kozłowa Góra, Łąka). Zdecydowanie mniej okazałe (raczej w postaci form efemerycznych i mikroskalowych) oraz rzadziej występujące są delty w obrębie zalewisk w nieckach z osiadania oraz w zbiornikach groblowych.

Wyjątkowo spektakularne rozmiary osiąga delta Kłodnicy wpływającej do funkcjonującego od 1964 roku zbiornika Dzierżno Duże o pojemności maksymalnej ponad 90 mln m³ (fot. 1). Jest ona zlokalizowana we wschodnim sektorze zbiornika (rys. 23).



Fot. 1. Osady powierzchniowe (u góry) i odwodna strefa krawędziowa (na dole) delty Kłodnicy w zbiorniku Dzierżno Duże (fot. J. Krawczyk i M.A. Rzętała)

Photo 1. Surface sediments (overhead) and the waterside edge (below) of the Kłodnica River delta in the Dzierżno Duże reservoir (photo by J. Krawczyk and M.A. Rzętała)



Rys. 23. Delta u ujścia Kłodnicy do zbiornika Dzieržno Duże przy różnych poziomach piętrzenia wody:

1 – wody, 2 – strefa akumulacji (delta), 3 – namuły, mułki i piaski rzeczne (holocen), 4 – mułki, piaski i żwiry rzeczne (plejstocen), 5 – piaski i gliny deluwialne (czwartorzęd), 6 – lasy i zadrzewienia, 7 – łąki i zadarnienia, 8 – tereny uprzemysłowione i zurbanizowane.

Fig. 23. Delta at the location where the Kłodnica River enters the Dzieržno Duże water body under different water levels:

1 – water, 2 – accumulation zone (delta), 3 – fluvial silts, loams and sands (Holocene), 4 – fluvial loams, sands and gravels (Pleistocene), 5 – deluvial sands and clays (Quaternary), 6 – forests and plantings, 7 – meadows and sodding, 8 – industrial and urban areas.

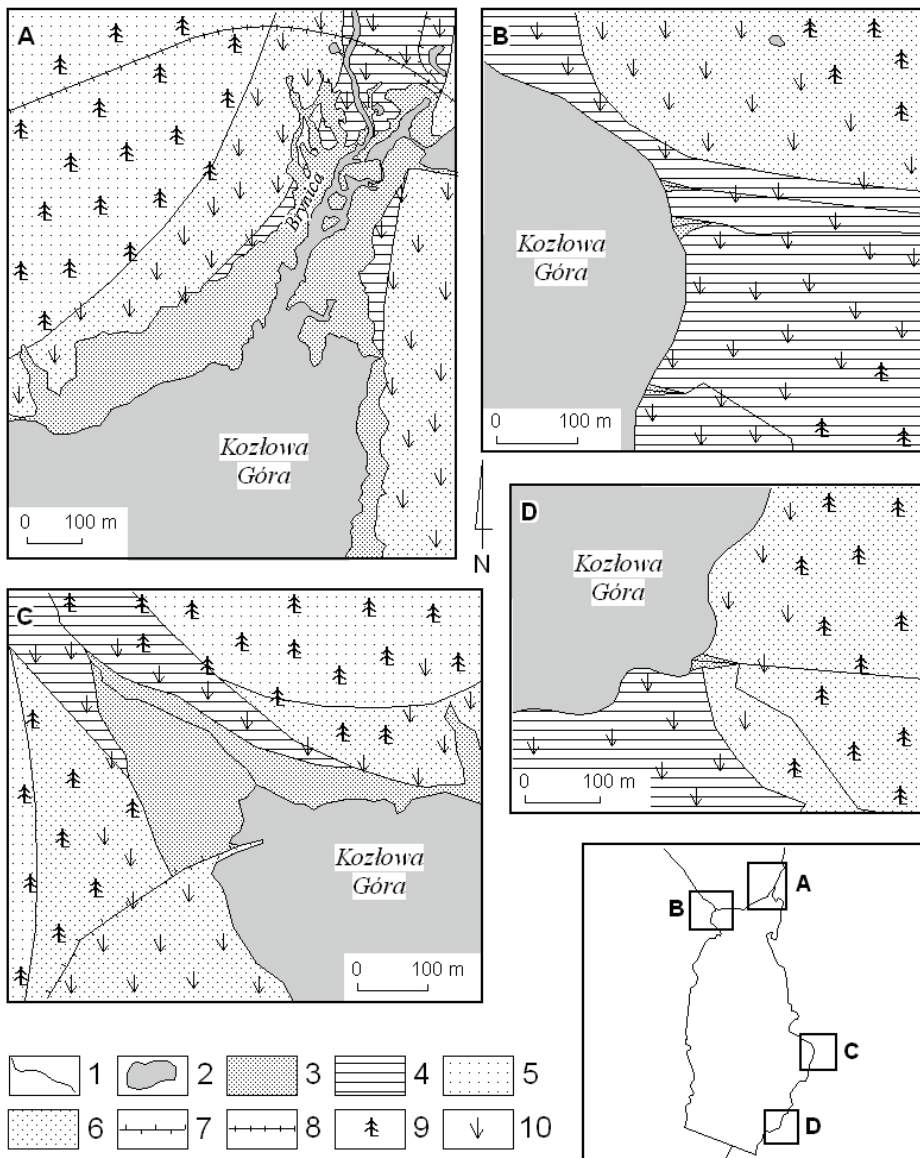
Funkcjonowanie zbiornika w zlewni o charakterze miejsko-przemysłowym (zachodnia część konurbacji górnośląskiej) i jego traktowanie jako osadnika dla zanieczyszczonych wód Kłodnicy skutkuje wykształceniem delty zbudowanej między innymi z materiału pościekowego i miału węglowego. W obrębie delty znajduje się bardzo dużo odpadów komunalnych i przemysłowych, dostarczanych przez bardzo zanieczyszczoną Kłodnicę. Powierzchnia delty wynosi ponad 1 km², przy czym wielkość jej nadwodnej i osuszanej okresowo części zmienia się w zależności od stanu wody. Miąższość jej osadów dochodzi w niektórych miejscach do kilkunastu metrów, a strop osadów deltowych znajduje się średnio na wysokości bezwzględ-

nej 198 m n.p.m. W okresach wysokich stanów wody osuszona powierzchnia delty zastąpiona zostaje płyczną o cechach rozległej mielizny. Niskim stanom wody w zbiorniku towarzyszy strefa odsłoniętej powierzchni delty pozbawionej roślinności, sukcesywnie przechodząca w powierzchnię utrwaloną przez intensywny rozwój roślinności zielnej. W warunkach bardzo wysokiej nitrofilności podłoża roślinność kolonizująca powierzchnię delty jest niezwykle bujna i w procesie sedentacji powoduje agradację delty. Delta ku zbiornikowi opada stromą krawędzią, przechodząc w pokrywą drobnofrakcyjnych osadów dennych o miąższości od kilkunastu centymetrów do 1,5 m. Kubaturę delty szacuje się na około 2 mln m³ (Rzętała, 2003).

W zbiorniku Kozłowa Góra powstało kilka delt (rys. 24). Największą strefą deltowej akumulacji akwen ma w strefie cofkowej. Charakteryzuje się ona występowaniem ponadstu-hektarowej powierzchni o intensywnym rozwoju roślinności z dużym udziałem procesów sedentacyjnych, które w części odwodnej mają dominujący wpływ na kształtowanie miąższości i przestrzennego zasięgu delty nad procesami sedymentacji rumowiska. Delta ma charakter dwudzielny, kojarzony z akumulacją głównego dopływu, jakim jest Brynica oraz z sedymentacją w strefie kontaktu wód zbiornika z wodami dopływu od strony Ostrożnicy. W obrębie zbiornika występuje również kilka innych, niewielkich delt, które tworzą się u ujścia niewielkich cieków zasilających akwen od strony wschodniej.

U ujścia Czarnej Przemszy do użytkowanego od 1963 roku zbiornika Przeczyce istnieją dogodne warunki do sedymentacji rumowiska. Jest to środowisko dwudzielne pod względem przestrzennym utożsamiane ze strefą cofkową głównego akwenu zaporowego i sąsiednimi stawami groblowymi (rys. 25). Główny obszar akumulacji stanowi strefa kontaktu wód Czarnej Przemszy i zaporowego zbiornika Przeczyce, drugi natomiast to kompleks zbiorników groblowych (o funkcjach hodowlanych) wybudowanych u ujścia Mitręgi do Czarnej Przemszy. W pierwszym przypadku w wyniku procesów sedymentacyjnych i sedentacyjnych wykształciła się klasyczna powierzchnia deltowa utrwaloną przez roślinność zielną i krzewiasto-drzewiastą, a w drugim jest to zespół basenów sedymentacyjnych o kaskadowym układzie akwenów latem wypełnionych wodą i opróżnionych zimą. Dostawa rumowiska do obszaru akumulacji odbywa się ze zlewni Czarnej Przemszy i zlewni Mitręgi, a także jest pochodną produktywności stawów hodowlanych.

Delty występują także w wielu innych zbiornikach wodnych, lecz są mniej okazałe niż stożki napływowe wykształcone w akwenach zaliczanych do największych w regionie (rys. 26). Mniejsze rozmiary delt wynikają przede wszystkim z istnienia lokalnych uwarunkowań utożsamianych z warunkami zasilania rumowiskiem. Delty w tych zbiornikach mają cechy mikroform i są stałym elementem rzeźby strefy litoralnej, w przeciwieństwie do równie licznej grupy mikroform spełniających pod względem geomorfologicznym kryteria występowania efemerycznego (fot. 2). Wiele zbiorników wodnych, zwłaszcza niewielkich pod względem pojemności i powierzchni, charakteryzuje się dynamicznie postępującym wypłycaaniem misy przede wszystkim w rezultacie intensywnego rozwoju roślinności i będących jego następstwem procesów sedentacyjnych.



Rys. 24. Strefy akumulacji rumowiska (delty) u ujścia dopływów powierzchniowych do zbiornika Kozłowa Góra:

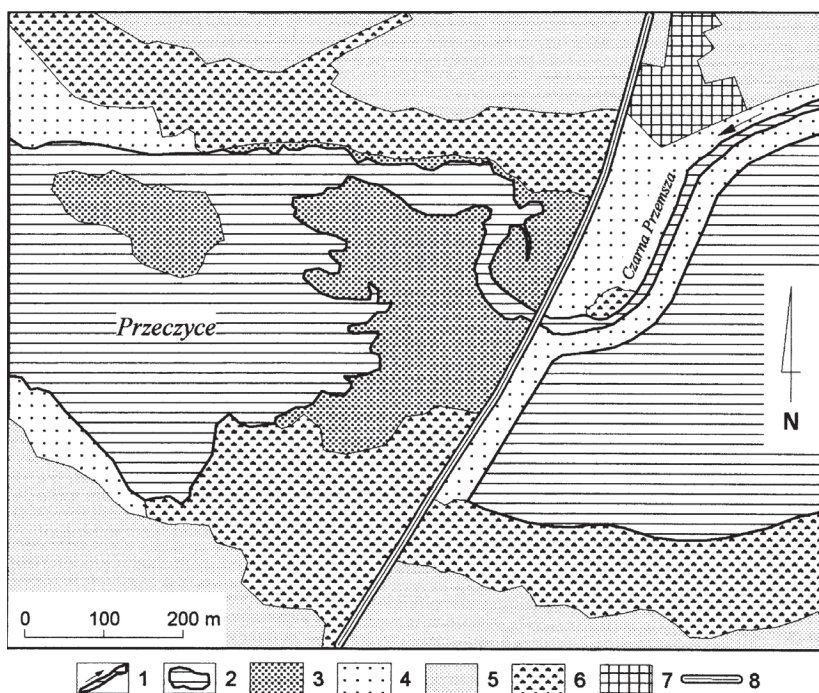
1 – ujściowe odcinki cieków do zbiornika (A – Brynica, B – tzw. północny dopływ od wschodu, C – dopływ od strony Chechła, D – tzw. południowy dopływ od wschodu), 2 – zbiorniki wodne, 3 – powierzchnie akumulacyjne (delty), 4 – torfy (holocen), 5 – piaski i żwiry wodnolodowcowe (plejstocen), 6 – mulki, piaski i żwiry rzeczne (czwartorzęd), 7 – groble, 8 – wał dawnej kolejki wąskotorowej, 9 – lasy i zadrzewienia, 10 – łąki i zadarnienia.

Fig. 24. Debris accumulation zones (deltas) at the location where surface tributaries enter the Kozłowa Góra water body:

1 – estuaries where tributaries enter the water body (A – Brynica River, B – so-called northern tributary from the east, C – tributary from the Chechło water body, D – so-called southern tributary from the east), 2 – water bodies, 3 – accumulation surfaces (deltas), 4 – peats (Holocene), 5 – glaciofluvial sands and gravels (Pleistocene), 6 – fluvial loams, sands and gravels (Quaternary), 7 – levees, 8 – embankment of the former narrow-gauge railway, 9 – forests and plantings, 10 – meadows and sodding.

W użytkowanym od 1986 roku zbiorniku Łąka na Pszczyńce występuje strefa akumulacji, miejscami urozmaicona przez delty o cechach efemerycznych. W związku z występowaniem poprzecznych grobli w strefie cofkowej zbiornika i możliwości czasowych zmian w retencjonowaniu wód na tym obszarze, akumulacja ma również znamiona polderowej w odróżnieniu od tej, która następuje w akwenu głównym. Ta specyficzna przestrzenna dwudzielność środowiska sedymentacyjno-sedentacyjnego znajduje odzwierciedlenie w różnym wykształceniu formy akumulacyjnej strefy cofkowej i głównego akwenu zbiornika. Dostawa rumowiska jest zapewniana przede wszystkim ze zlewni o powierzchni około 150 km². W przewadze rolnicze użytkowanie zlewni skutkuje dopływem substancji pożywkowych ze źródeł rolniczych, chociaż nie można wykluczyć wpływu ścieków przemysłowych, bytowych i komunalnych w rozwoju procesów eutrofizacyjnych w zbiorniku.

U ujścia Potoku Toszeckiego do zbiornika Pławniowice utworzyła się niewielkich rozmiarów delta, której towarzyszy strefa rozległej akumulacji, wachlarzowego kształtu, kształtowana w warunkach zmiennego falowania wód zbiornika i energii wód dopływu powierzchniowego.

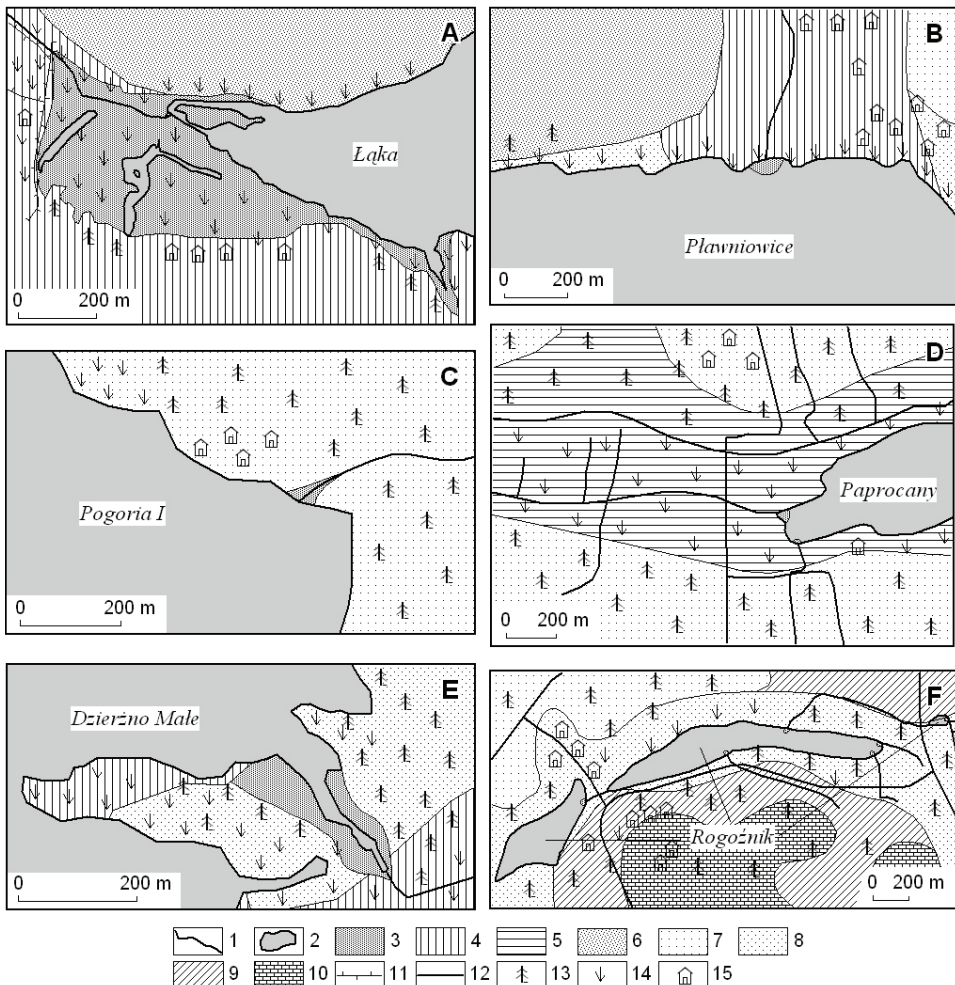


Rys. 25. Okolice ujścia Czarnej Przemszy do zbiornika Przechyca:

1 – ciek, 2 – zbiorniki wodne, 3 – powierzchnie akumulacyjne, 4 – łąki i zadarnienia, 5 – pola uprawne, 6 – lasy i zadrzewienia, 7 – tereny komunalne, 8 – ważniejsze drogi.

Fig. 25. Vicinity of the area where the Czarna Przemsza River enters the Przechyca water body:

1 – watercourses, 2 – water bodies, 3 – accumulation areas, 4 – meadows and sodding, 5 – farmland, 6 – forests and plantings, 7 – municipal land, 8 – major roads.



Rys. 26. Deltami i strefami akumulacji rumowiska u ujścia dopływów powierzchniowych do zbiorników wodnych:

1 – ciek, 2 – zbiorniki wodne (A – Łąka, B – Pławniowice, C – Pogoria I, D – Paprocany, E – Dzierżno Małe, F – Rogoźnik), 3 – powierzchnie akumulacyjne (deltami), 4 – namuły, mułki i piaski rzeczne (holocen), 5 – torfy (holocen), 6 – lessy (plejstocen), 7 – piaski i żwiry wodnolodowcowe, piaski, żwiry i gliny lodowcowe (plejstocen), 8 – mułki, piaski i żwiry rzeczne (czwartorzęd), 9 – piaski i gliny deluwialne (czwartorzęd), 10 – wapień, margle, dolomity (trias), 11 – groble, 12 – drogi, 13 – lasy i zadrzewienia, 14 – łąki i zadarnienia, 15 – zabudowa i elementy infrastruktury.

Fig. 26. Deltas and debris accumulation zones at the location where surface tributaries enter the water bodies:

1 – watercourses, 2 – water bodies (A – Łąka, B – Pławniowice, C – Pogoria I, D – Paprocany, E – Dzierżno Małe, F – Rogoźnik), 3 – accumulation surfaces (deltas), 4 – fluvial silts, loams and sands (Holocene), 5 – peats (Holocene), 6 – loesses (Pleistocene), 7 – glaciofluvial sands and gravels, glacial sands, gravels and clays (Pleistocene), 8 – fluvial loams, sands and gravels (Quaternary), 9 – deluvial sands and clays (Quaternary), 10 – limestones, marls, dolomites (Triassic), 11 – levees, 12 – roads, 13 – forests and plantings, 14 – meadows and sodding, 15 – buildings and infrastructure.



Fot. 2. Niewielkich rozmiarów delta u ujścia Jaworznika do pierwszego zbiornika kaskady Rogoźnik (fot. M.A. Rzętała)

Photo 2. Small delta at the location where the Jaworznik Stream enters the first water body of the Rogoźnik cascade (photo by M.A. Rzętała)

Stałym elementem rzeźby wybrzeża zbiornika Pogoria I jest delta u ujścia cieków Pogoria. Wypełnia ona poeksploatacyjne zakłębienie linii brzegowej, wyrównując zarys linii brzegowej akwenu. Intensywny rozwój roślinności szuwarowej przyczynia się do agradacji delty w wyniku procesów sedentacyjnych.

Podobna strefa akumulacji jest wywoływana przez dopływy zbiornika Paprocany. Intensywny rozwój makrofitów powoduje, że formy deltowe są kształtowane przede wszystkim przez procesy sedentacyjne, dominujące nad skutecznością morfogenetyczną procesów sedymentacyjnych.

U ujścia Dramy do zbiornika Dzierżno Małe formuje się delta przechodząca w pokrywę drobnofrakcyjnych osadów dennych. Rozwój delty i pokryw osadów dennych w tym zbiorniku zapewnia Drama, odwadniająca zlewnię o charakterze rolniczo-przemysłowym, którą oprócz rumowiska frakcji stałej zasilają nadmierne ilości substancji pożywkowych powodujących eutrofizację. Z tego też powodu zarówno strefę delty, jak i innych odcinków brzegów akumulacyjnych porasta roślinność zielna, krzewiasta i drzewiasta.

68 Delty stabilne morfologicznie oraz o cechach efemerycznych są obecne na wybrzeżach zbiorników Rogoźnik w dolinie Jaworznika. Wobec dominacji piasz-

czystych utworów powierzchniowych, podstawowym budulcem delt jest przede wszystkim dobrze wysortowany materiał piaszczysty. Niewielkie delty powstały w każdym ze zbiorników, mimo kaskadowego ułożenia akwenów i niewielkiej odległości między nimi, a potencjalne trudności w dostawie rumowiska do wód odpływów rekompensuje dostawa osadów ze zbiorników, możliwa w warunkach upustu dennego.

Najmniej sprzyjające warunki do powstawania delt występują w akwenach o sztucznych misach, rozmieszczonych kaskadowo wzdłuż cieku z powierzchniowym odpływem wód. Niewielkie odległości między zbiornikami nie pozwalają na efektywne zasilanie w rumowisko dopływów powierzchniowych, a wobec braku upustu dennego i częstokroć dużo niżej położonego dna misy z osadami dennymi, nie sprzyjają dostarczaniu materiału do kolejnych akwenów ich kaskady. Sytuacja taka występuje w zlewni Pogorii. W zbiorniku Pogoria I, jako pierwszym akwenie kaskady, powstała niewielkich rozmiarów delta. W zbiorniku Pogoria II, tuż pod powierzchnią zwierciadła wody występuje zaledwie stożek napływowy, okresowo rozmywany przez falowanie wywołane zwłaszcza silnym wiatrem z sektora zachodniego. Przy dopływie Pogorii do jeziora Pogoria III, wody dopływu są pozbawione materiału dennego, zdeponowanego w wyżej położonych zbiornikach kaskady. Istnieje jednak zapis procesów akumulacyjnych w morfologii misy sąsiadującej z ujściowym odcinkiem dopływu. Słabo wyraźny stożek napływowy, utworzony z materiału pochodzącego z erozji piaszczystego koryta, ulega degradacji w konsekwencji falowania i prądów litoralnych, czemu w przeszłości sprzyjało osuszenie towarzyszące okresowemu obniżaniu zwierciadła wody nawet o ponad metr i transpozycja akumulacji materiału ze strefy przybrzeżnej w głąb zbiornika, nawet o kilkaset metrów.

4.2. Przestrzenne zróżnicowanie występowania osadów dennych

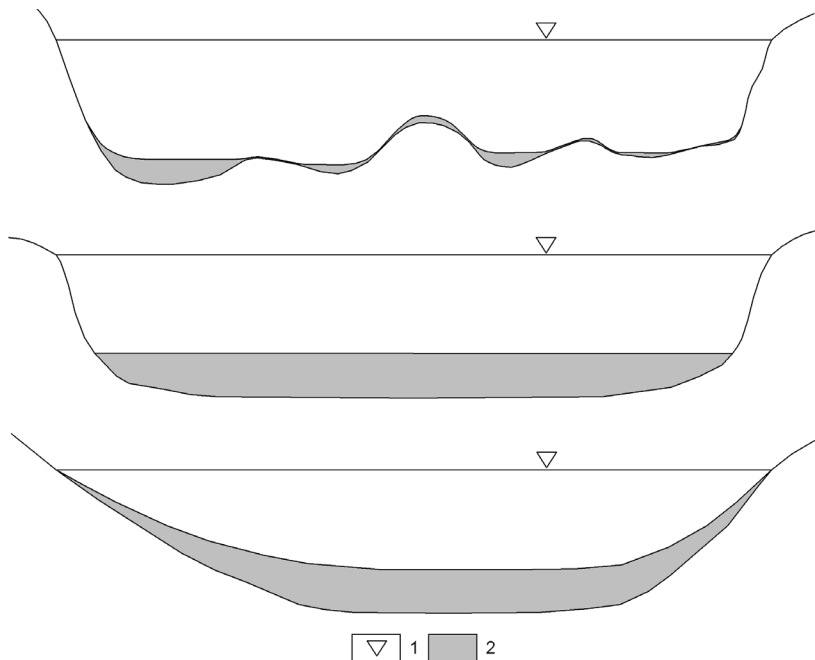
4.2.1. Miąższość i kubatura osadów

Zasadniczą prawidłowością rozmieszczenia osadów dennych w zbiornikach wodnych jest ich występowanie głównie u ujścia dopływów powierzchniowych i w głębozczkach, a zdecydowanie mniejsza ich ilość w obrębie wyniesień dna misy oraz w pozostałych partiach przybrzeżnych zbiorników, charakteryzujących się nawet niewielkim nachyleniem. Są to prawidłowości występujące we wszystkich zbiornikach wodnych, a lokalne odrębności związane są przede wszystkim z konfiguracją dna mis jeziornych oraz z lokalnymi warunkami depozycji materiału budującego osady denne.

Szczególnym zróżnicowaniem miąższości charakteryzują się osady zdeponowane w sąsiedztwie ujścia dopływów powierzchniowych. W strefie kontaktu wód

płynących z wodami stojącymi następuje akumulacja rumowiska, która kształtuje nie tylko delty, ale także miąższość osadów dennych deponowanych w sąsiedztwie, co jest bezpośrednio zależne od wielkości (możliwości transportu rumowiska) i charakteru (skoncentrowana struga, ciek o cechach anastomozujących) przepływu. Nie bez znaczenia są wahania stanów wody w zbiornikach, ponieważ od nich zależy miejsce ostatecznej depozycji rumowiska (dalej lub bliżej środka akwenu). Zmiany lokalnej bazy erozyjnej tożsame ze zmianą wysokości zwierciadła wody w zbiorniku są więc czynnikiem kształtującym miąższość osadów.

Wypełnienia mis zbiornikowych osadami dennymi są nierównomierne i nawiązujące do konfiguracji dna (rys. 27). Przeglębienia zawierają osady denne o większej miąższości w porównaniu do wyniesień, gdzie można spotkać, co najwyżej kilkucentymetrowej miąższości, warstwy osadów mulistych podścielonych osadem wymieszanym z materiałem podłoża. Mniejsza reprezentacja osadów dennych na wyniesieniach dna jest dyktowana ich grawitacyjnym przemieszczaniem ku głębszym partiom zbiornika. Te fragmenty dna zbiornika są najbardziej narażone na erozję zdeponowanych osadów w wyniku falowania wody (resuspensja osadów), które są z takich miejsc systematycznie usuwane. Osady denne wypełniają w całości głęboczki i lokalne przeglębienia dna mis, które znajdują się poza oddziaływaniem



Rys. 27. Schemat dominujących typów wypełnienia osadami dennymi antropogenicznych zbiorników wodnych:

1 – zwierciadło wody w zbiorniku, 2 – osady denne.

Fig. 27. Diagram showing dominant bottom sediment patterns in anthropogenic water bodies:

1 – water level in the water body, 2 – bottom sediments.

podstawy falowania wody. Występują one w różnych miejscach mis zbiorników poeksploatacyjnych, co jest zależne od sytuacji hipsometrycznej powierzchni dna dawnych odkrywek. W zbiornikach zaporowych największe głębokości misy kojarzone z wypełnieniem osadami dennymi, zwykle znajdują się w strefie przyzaporowej.

Najmniej zróżnicowany przestrzenny rozkład miąższości osadów dennych dotyczy mis zbiorników o stosunkowo płaskim dnie. Taka sytuacja jest typowa dla zbiorników groblowych, niektórych zaporowych i poeksploatacyjnych. Zalane dno dawnych dolin rzecznych jest bardziej wyrównane, a ich zatopione zbocza mają łagodne spadki lub są krawędzią zbiorników. W takich płaskodennych misach depozycja osadów dennych ma cechy równomiernego pokrycia powierzchniowego.

Specyficzne cechy wypełnienia osadami dennymi mają niewielkie zbiorniki wodne o charakterze nieckowatych zagłębień, o wyraźnie koncentrycznym nachyleniu dna z wyodrębnionym głębockiem. W obrębie takich akwenów wypełnienie osadami przybiera formę depozycji w pełni pokrywającej powierzchnię dna (fot. 3—5).



Fot. 3. Osady denne w okresowo pozbawionym wody zbiorniku groblowym Harmęże (fot. M.A. Rzętała)

Photo 3. Bottom sediments in the periodically dry Harmęże levee pond (photo by M.A. Rzętała)



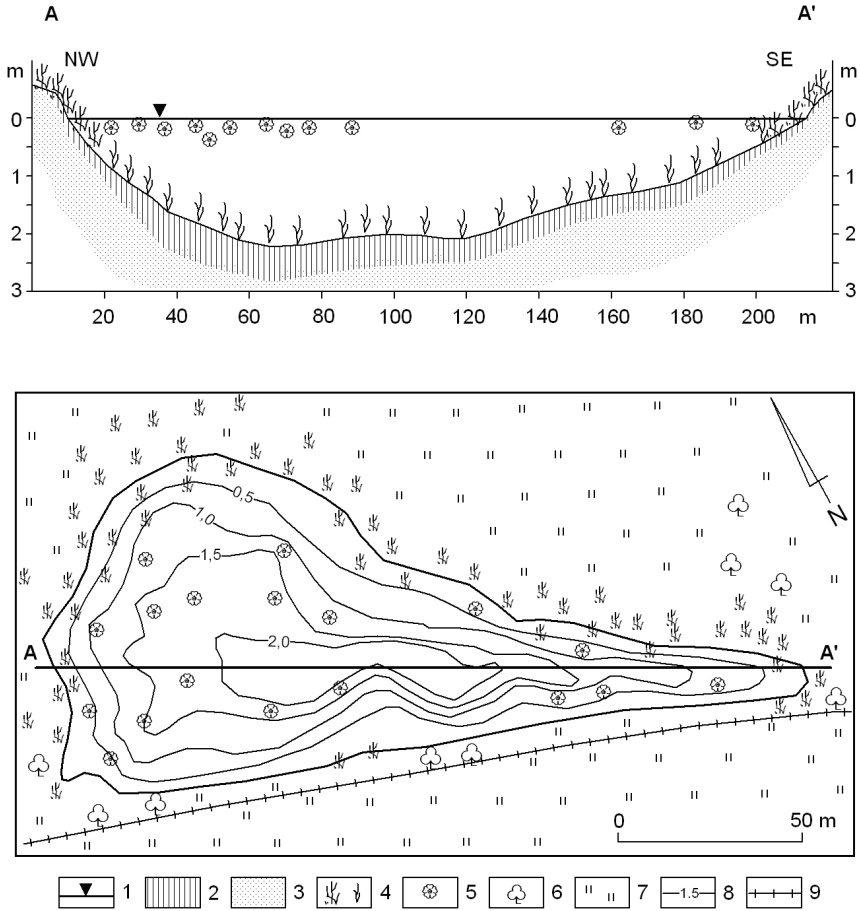
Fot. 4. Osady denne w osuszonym zbiorniku groblowym Wielikąt (fot. M.A. Rzętała)
Photo 4. Bottom sediments in the drained Wielikąt levee pond (photo by M.A. Rzętała)



Fot. 5. Częściowo wypełnione osadami rozlewisko Bobrka w Sosnowcu-Klimontowie w 2007 r. (fot. M.A. Rzętała)

Photo 5. Area inundated by the Bobrek Stream in Sosnowiec-Klimontów in 2007, partially filled with sediments (photo by M.A. Rzętała)

W zależności od modelu kształtowania pokryw osadów dennych w zbiornikach antropogenicznych, różnie przedstawia się zapis udziału osadów brzegowych w osadach i formach dna. W odniesieniu do zbiorników poeksploatacyjnych (np. zbiorników Pogoria III, Dzierżno Duże), osady dennie w strefie przybrzeżnej zwykle stanowią produkty procesów abrazyjnych zakumulowane u podnóża platform abrazyjnych, w postaci systemu odsypisk, nawiązujących do wcześniejszych poziomów piętrzenia (mają one barwę ciemno brązową i wyraźnie odróżniają się od czarnych, mulistych osadów zalegających głębiej). Akwenty o znacznym stopniu pokrycia brzegów roślinnością (np. zbiornik Kozłowa Góra, zbiornik Czeladź Norwida — rys. 28)



Rys. 28. Rozkład osadów dennych w obrębie misy zbiornika Czeladź Norwida:

1 — zwierciadło wody w zbiorniku, 2 — osady dennie, 3 — osady podłoża misy, 4 — roślinność szuwarowa, 5 — roślinność pływająca, 6 — roślinność drzewiasta i krzewiasta, 7 — roślinność zielna i trawiasta, 8 — izobaty w metrach, 9 — nasypy.

Fig. 28. Distribution of bottom sediments within the basin of the Czeladź Norwida water body:

1 — water level in the water body, 2 — bottom sediments, 3 — basin substrate sediments, 4 — rushes, 5 — floating vegetation, 6 — trees and shrubs, 7 — herbs and grass, 8 — isobaths in metres, 9 — embankments.

charakteryzuje przybrzeżne nagromadzenie substancji organicznej pochodzącej głównie z sedimentacji, której produkty rozprzestrzeniają się ku głębszym partiom zbiornika.

Mięszszość osadów dennych w badanych zbiornikach wodnych jest bardzo zróżnicowana, co świadczy o silnym wpływie lokalnych uwarunkowań ich kształtowania. Średnie miąższości osadów dennych, obliczone dla poszczególnych akwenów, wahają się w zakresie od 0,2 cm (w zbiorniku Koparki) do 179,5 cm (w zbiorniku Gliniok, pełniącym przez wiele lat funkcję osadnika). Średnio we wszystkich zbiornikach miąższość osadów wynosi 24,3 cm, przy znacznie niższej medianie 16,8 cm i odchyleniu standardowym 27,3 cm. Z reguły jest ona niewielka w porównaniu do jezior funkcjonujących w krajobrazie często wiele tysięcy lat. Miąższość maksymalna osadów może osiągać lokalnie dużo większe wartości, jak w przypadku nagromadzenia osadów w konsekwencji pełnienia przez zbiornik funkcji osadnika (np. Dzierżno Duże).

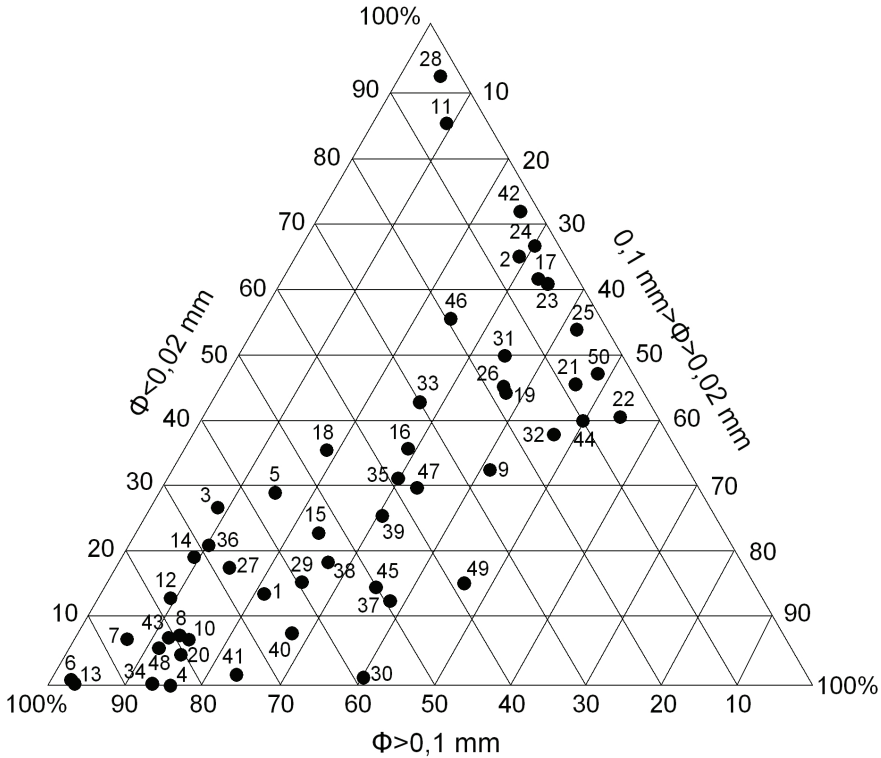
Zróżnicowanie miąższości osadów dennych w zbiornikach wynikające z odrębności uwarunkowań ilustrują dane dla zbiorników podobnych pod względem genezy i czasu funkcjonowania. W zbiorniku Dzierżno Duże średnia miąższość osadów dennych wynosi około 70 cm (z udziałem osadów deltowych), a w zbiorniku Pogoria III zaledwie kilkanaście centymetrów. Blisko 20 cm wynosi średnia miąższość osadów dennych w zbiorniku Kozłowa Góra i nieco ponad 20 cm w zbiorniku Przeczyce. W zagłębieniu bezodpływowym zbiornika Czeladź Norwida osady denne mają średnio 58 cm grubości. W zbiornikach bezodpływowych u ujścia Rawy do Brynicy średnia grubość osadów dennych wynosi około: 8 cm (zbiornik Gliniak), 35 cm (zbiornik Hubertus), 5 cm (zbiornik Morawa), 9 cm (zbiornik Stawiki).

Przestrzenne różnice w wypełnieniu osadami dennymi poszczególnych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego są jeszcze bardziej uwypuklone przez objętość zawartych w nich osadów, która jest zróżnicowana w poszczególnych zbiornikach. Najwięcej osadów występuje w zbiornikach Dzierżno Duże (3,9 mln m³), Przeczyce (1,2 mln m³) i Kozłowa Góra (1,1 mln m³). Dalsze miejsca zajmują zbiorniki Dzierżno Małe (0,7 mln m³) i Paprocany (0,6 mln m³). Pozostałe zbiorniki zgromadziły jeszcze mniejszą kubaturę osadów.

4.2.2. Skład mechaniczny osadów

Skład granularny osadów dennych zbiorników antropogenicznych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego cechuje specyfika zależna przede wszystkim od macierzystego podłoża misy jeziornej oraz od rodzaju rumowiska dostarczonego ze zlewni. Młody wiek osadów — często liczący nie więcej niż kilkadziesiąt lat — w połączeniu ze zdarzającym się ich przemieszczaniem i mieszaniem powoduje, że w składzie mechanicznym nie notuje się wyraźnej dominacji określonej frakcji

(Rzętała, 2008). W uśrednionym składzie mechanicznym najmniejszy udział przypada frakcji pylastej (25,5%), drugą w kolejności pod względem udziału jest frakcja ilasta (29,9%), a najwięcej jest ziaren piaszczystych (44,5%). W przypadku poszczególnych akwenów udział tych frakcji jest znacząco zróżnicowany (rys. 29).



Rys. 29. Uziarnienie osadów dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego:

1 – Dzierżno Duże, 2 – Dzierżno Małe, 3 – Pogoria I, 4 – Pogoria II, 5 – Pogoria III, 6 – Chechłó, 7 – Stawiki, 8 – Morawa, 9 – Hubertus I, 10 – Gliniak, 11 – Hubertus II, 12 – Borki, 13 – Borki Małe, 14 – Sosina, 15 – Plawniowice, 16 – Mały Zalew, 17 – Rogoźnik (wschodni), 18 – Rogoźnik I (środkowy), 19 – Rogoźnik (zachodni), 20 – Balaton, 21 – Czeladź Norwida, 22 – Milicyjny, 23 – Mały, 24 – Kajakowy, 25 – Łąka, 26 – Ozdobny, 27 – Kazimierz, 28 – Gliniok, 29 – Koparki, 30 – Amendy, 31 – Brzeziny, 32 – Kozłowa Góra, 33 – Przeczyce, 34 – Paprocany, 35 – Żabie Doły, 36 – Bobrek – rozlewisko, 37 – Pekin – misa S, 38 – Pekin – misa E, 39 – Pekin – misa W, 40 – Makoszowy Niecka, 41 – Makoszowy Las, 42 – Przy Leśnej, 43 – Przeczyce – stawy, 44 – Sławków, 45 – Kradziejówka, 46 – Wielikąt, 47 – Łęczczok, 48 – Ostroźnica, 49 – Harmęże, 50 – Przetok.

Fig. 29. Grain size distribution of bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region:

1 – Dzierżno Duże, 2 – Dzierżno Małe, 3 – Pogoria I, 4 – Pogoria II, 5 – Pogoria III, 6 – Chechłó, 7 – Stawiki, 8 – Morawa, 9 – Hubertus I, 10 – Gliniak, 11 – Hubertus II, 12 – Borki, 13 – Borki Małe, 14 – Sosina, 15 – Plawniowice, 16 – Mały Zalew, 17 – Rogoźnik (east), 18 – Rogoźnik I (middle), 19 – Rogoźnik (west), 20 – Balaton, 21 – Czeladź Norwida, 22 – Milicyjny, 23 – Mały, 24 – Kajakowy, 25 – Łąka, 26 – Ozdobny, 27 – Kazimierz, 28 – Gliniok, 29 – Koparki, 30 – Amendy, 31 – Brzeziny, 32 – Kozłowa Góra, 33 – Przeczyce, 34 – Paprocany, 35 – Żabie Doły, 36 – Bobrek – inundated area, 37 – Pekin – S basin, 38 – Pekin – E basin, 39 – Pekin – W basin, 40 – Makoszowy Niecka, 41 – Makoszowy Las, 42 – Przy Leśnej, 43 – Przeczyce – ponds, 44 – Sławków, 45 – Kradziejówka, 46 – Wielikąt, 47 – Łęczczok, 48 – Ostroźnica, 49 – Harmęże, 50 – Przetok.

Największy udział frakcji piaszczystej charakteryzuje osady zbiorników zajmujących misy po eksploatacji piasku. W przypadku zbiorników Borki Małe, Chechło, Stawiki, Pogoria II udział ten kształtuje się odpowiednio na poziomie: 97,7%, 97,3%, 86,8% i 83,1%, chociaż równie wysoki odsetek piasku (86,9%) zawierają osady najstarszego zbiornika w regionie — Paprocany.

Udział frakcji pylastej w osadach dennych badanych zbiorników wodnych jest generalnie nieco niższy i osiąga 54,0% w osadach pierwszego zbiornika kaskady Potoku Leśnego (Zbiornik Milicyjny). Osady denne zbiornika w Sławkowie składają się z ziaren tej frakcji w 50,0%. Na dalszych miejscach znajdują się zbiorniki: Przetok (48,0%), Kozłowa Góra (47,0%) i staw w Harmężu (46,5%).

Ziarna o średnicy mniejszej od 0,02 mm dominują w osadach dennych zbiornika Gliniok, gdzie stanowią 93,0% całości osadu, który, jak wynika z ustaleń T. Molendy (2011), genetycznie należy utożsamiać z zawiesiną deponowaną z wód kopalnianych w osadniku wykorzystywanym w procesach przemysłowych uzdatniania węgla. Równie wysoki udział tej frakcji (85,5%) stwierdzono w osadach dennych zbiornika Hubertus II, co jest wynikiem składowania w obrębie misy odpadów poprodukcyjnych hutnictwa metali nieżelaznych. Na dalszych miejscach pod względem udziału frakcji ilastej znajdują się osady denne zbiorników: Przy Leśnej (72,0%), Kajakowy (67,0%) i Dzierżno Małe (65,0%).

Pod względem składu mechanicznego osady denne 12 zbiorników wodnych zostały sklasyfikowane jako ilaste (rys. 29—2, 11, 17, 19, 23, 24, 26, 28, 31, 33, 42, 46). Kolejnymi grupami pod względem liczebności są osady o cechach gliny piaszczystej, reprezentowane przez 8 zbiorników wodnych (rys. 29—1, 12, 14, 27, 29, 30, 38, 40) oraz osady piasku gliniastego, które występują w kolejnych 8 akwenach (rys. 29—4, 7, 8, 10, 20, 41, 43, 48). Pozostałe grupy osadów są mniej licznie reprezentowane. Cechy ilu pylastego dają osady denne czterech zbiorników wodnych (rys. 29—21, 22, 25, 50). Osady denne odpowiadające glinie dają cztery zbiorniki wodne (rys. 29—37, 39, 45, 49), glinie ilastej — również cztery (rys. 29—9, 16, 35, 47), podobnie jak glinie piaszczysto-ilastej (rys. 29—3, 5, 15, 36). Osady denne o cechach piasku dają zbiorniki Chechło, Borki Małe i Paprocany (rys. 29—6, 13, 34). Gliną pylasto-ilastą są osady denne zbiorników Kozłowa Góra i Sławków (rys. 29—32, 44). Il piaszczysty jest osadem typowym dla zbiornika Rogoźnik I (rys. 29—18)

4.2.3. Skład i właściwości fizykochemiczne osadów

Zróznicowanie składu chemicznego osadów w poszczególnych zbiornikach wodnych uwarunkowane jest charakterem rumowiska, rodzajem użytkowania zlewni oraz podłożem geologicznym. Skład podstawowy osadów dennych badanych zbiorników wodnych jest znacząco zróżnicowany i wskazuje na silne oddziaływanie wpływów antropogenicznych (tab. 3).

Tabela 3. Skład podstawowy [%] osadów dennych zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-za-głębiowskim

Table 3. Basic composition [%] of bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region

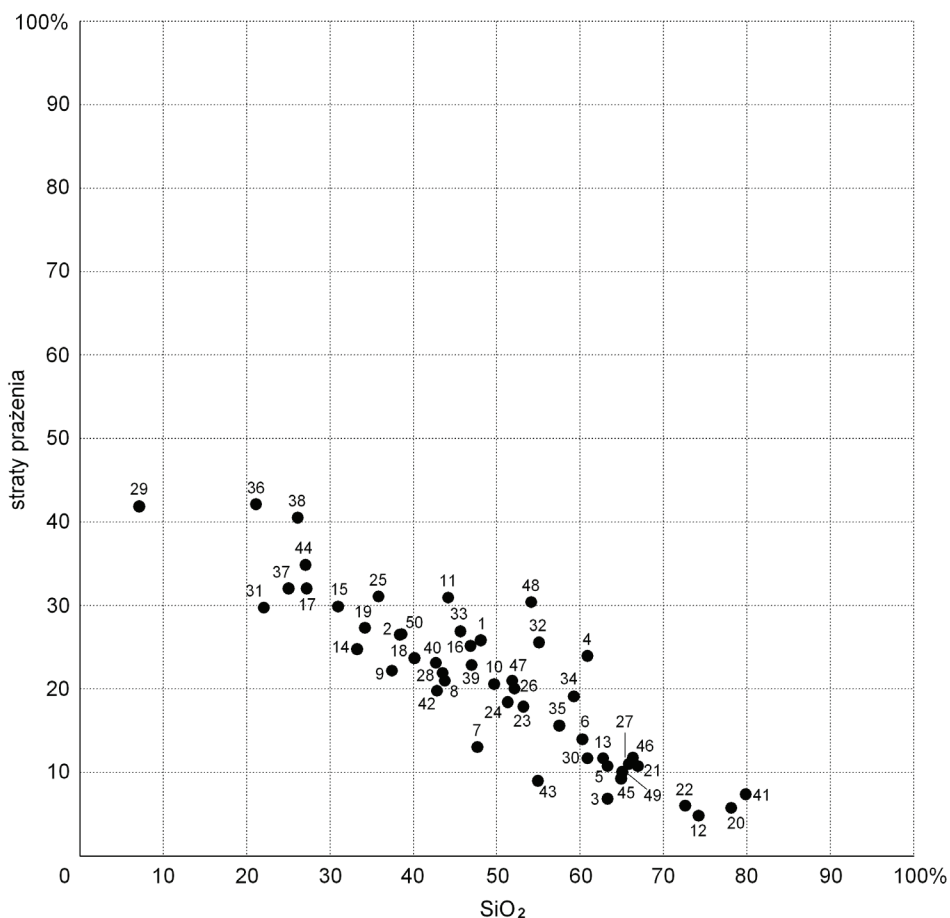
Nazwa zbiornika Water body name	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Dzierżno Duże	9,30	6,12	0,06	1,56	2,50	0,37	1,25	0,41	0,74
Dzierżno Małe	7,14	3,23	0,08	0,80	20,60	0,36	1,21	0,42	0,31
Pogoria I	13,60	8,56	0,14	1,37	1,61	0,65	2,49	0,81	0,24
Pogoria II	6,00	3,29	0,05	0,35	1,34	0,49	1,39	0,61	0,15
Pogoria III	11,19	5,37	0,20	1,52	2,88	0,59	2,14	0,77	0,14
Czechło	12,91	6,04	0,06	0,65	0,73	0,69	1,98	0,61	0,16
Stawiki	8,33	4,96	0,35	0,82	9,99	0,48	1,38	0,62	0,18
Morawa	11,39	13,08	0,22	1,00	2,20	0,41	1,49	0,66	0,25
Hubertus I	7,61	5,66	0,75	0,88	9,03	0,43	1,16	0,44	0,19
Gliniak	9,94	8,12	0,20	0,76	2,13	0,47	1,47	0,64	0,23
Hubertus II	9,60	4,27	0,49	1,34	25,30	0,83	1,20	0,41	0,09
Borki	9,06	4,18	0,06	0,58	0,72	0,80	1,99	0,80	0,11
Borki Małe	8,56	10,41	0,48	0,58	0,80	0,53	1,63	0,78	0,15
Sosina	10,10	3,59	0,08	1,17	21,20	0,20	1,38	0,46	0,09
Pławniowice	4,08	2,96	0,16	0,48	24,81	0,31	0,82	0,30	0,16
Mały Zalew	7,78	8,61	0,23	0,59	6,66	0,33	1,23	0,41	0,27
Rogoźnik (wschodni/east)	4,81	2,07	0,04	0,75	29,41	0,25	1,03	0,28	0,11
Rogoźnik I (środkowy/middle)	6,58	4,30	0,34	0,80	20,29	0,40	1,28	0,45	0,12
Rogoźnik (zachodni/west)	4,44	2,24	0,25	0,74	28,04	0,35	0,93	0,32	0,09
Balaton	7,78	2,68	0,04	0,40	0,60	0,83	2,01	0,81	0,08
Czeladź Norwida	8,03	4,06	0,17	0,60	3,55	0,69	1,86	0,62	0,13
Milicyjny	8,69	2,85	0,06	1,03	3,07	1,01	2,02	0,71	0,12
Mały	10,45	4,56	0,14	0,96	7,84	0,51	1,79	0,61	0,16
Kajakowy	14,48	7,08	0,21	0,99	2,14	0,38	2,06	0,75	0,26
Łąka	13,49	10,79	0,16	0,62	1,58	0,27	1,33	0,49	0,39
Ozdobny	11,19	4,69	0,14	0,93	5,86	0,42	1,94	0,68	0,33
Kazimierz	9,50	4,17	0,04	0,82	3,75	0,58	1,88	0,78	0,11
Gliniok	17,08	6,56	0,12	1,35	3,93	1,13	2,42	0,78	0,12
Koparki	1,24	4,78	0,41	13,30	30,69	0,05	0,16	0,06	0,06
Amendy	8,34	9,53	0,22	0,76	3,81	0,50	1,57	0,60	0,16
Brzeziny	4,39	3,03	0,23	1,52	24,33	0,32	0,84	0,25	0,51
Kozłowa Góra	8,15	4,74	0,08	0,50	1,86	0,46	1,26	0,53	0,30
Przeczycze	8,18	6,53	0,16	0,91	8,06	0,35	1,39	0,53	0,52
Paprocany	8,44	7,02	0,06	0,43	0,93	0,59	1,48	0,56	0,26
Żabie Doły	8,32	6,09	0,23	0,79	6,80	0,58	1,65	0,60	0,19
Bobrek — rozlewisko	6,60	11,71	0,46	1,32	6,18	0,29	0,96	0,35	5,28
Pekin — misa S	7,10	7,71	0,32	0,74	12,30	0,30	0,89	0,34	0,35
Pekin — misa E	10,02	6,93	0,15	1,29	11,97	0,42	1,34	0,41	0,40

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pekin — misa W	11,91	9,55	0,19	0,71	3,85	0,35	1,67	0,65	0,23
Makoszowy Niecka	16,86	5,55	0,05	1,06	0,43	0,38	2,33	0,74	0,18
Makoszowy Las	6,53	2,60	0,03	0,38	0,66	0,67	1,61	1,02	0,07
Przy Leśnej	9,23	5,85	0,22	2,54	8,37	0,37	1,62	0,52	0,21
Przeczycze — stawy	7,83	4,58	0,10	1,27	8,52	0,47	1,48	0,59	0,30
Sławków	3,55	2,66	0,05	3,74	22,03	0,23	0,64	0,21	0,12
Kradziejówka	7,22	2,90	0,04	0,45	0,97	0,67	1,57	0,64	0,27
Wielikąt	11,43	3,49	0,03	0,97	0,99	0,90	2,16	0,74	0,20
Łęczczok	9,65	9,09	0,44	0,70	1,13	0,61	1,60	0,64	0,69
Ostrożnica	6,71	2,24	0,05	0,33	1,42	0,50	1,22	0,45	0,20
Harmęże	12,70	5,49	0,05	1,11	0,49	0,89	2,02	0,82	0,26
Przetok	5,50	2,35	0,06	0,78	19,03	0,39	1,12	0,38	0,25

Pod względem składu całkowitego prawie we wszystkich próbkach dominuje SiO₂, przy towarzyszących stratach prażenia (miara zawartości substancji organicznej) w ilości zwykle odwrotnie proporcjonalnej, o czym świadczy ujemny współczynnik korelacji — 0,89 (rys. 30). Zawartość SiO₂ waha się w granicach od 6,83% w osadach zbiornika Koparki do 79,94% w osadach śródleśnego zbiornika Makoszowy Las, a średnia arytmetyczna, mediana i odchylenie standardowe wynoszą odpowiednio: 47,89%, 48,60% i 16,77%. Straty prażenia wahają się w granicach od 4,71% w osadach zbiornika Borki do 47,71% w osadach zbiornika Dzierżno Duże, przy średniej dla wszystkich obiektów badawczych wynoszącej 21,91%, podobnej medianie (21,54%) i odchyleniu standardowym 10,12%. Duża wartość strat prażenia wskazuje na znaczną ilość materii organicznej w osadach; ma ona najczęściej charakter allochtoniczny. Dodatkowo, strefy brzegowe jezior często kolonizują zwarte zbiorowiska szuwarowe i wierzbowe, które charakteryzują się wysoką bioproduktywnością, a ich opad ma znaczący wpływ na kształtowanie się składu chemicznego osadów jako materii autochtonicznej (Rzętała i in., 2013). Zasadniczo wyższa zawartość SiO₂ przy niższych stratach prażenia jest prawidłowością, która wynika z warunków zlewniowych i uwarunkowań antropogenicznych. Tego typu relacje odzwierciedla ponad 60% udział dwutlenku krzemu w osadach nanoszonych przez Pogorie, której podłoże zlewniowe stanowią w przewadze piaski fluwioglacjalne.

Obok materii organicznej i krzemionki, jako podstawowego budulca, w osadach dennych występują, również jako podstawowe minerały lub ich komponenty: Al₂O₃, Fe₂O₃, a także związki manganu, magnezu, wapnia, sodu, potasu, tytanu i fosforu. Ich udział także zależy od litologii zlewni oraz charakteru wpływów antropogenicznych

Oznaczenie zawartości Al₂O₃ w próbkach badanych osadów wykazało jego zawartość w granicach od 1,24% do 17,08%, przy średniej 8,86%. Największą koncentrację Al₂O₃ przypisuje się osadom dennym zbiornika Gliniok w Katowicach, natomiast najniższa dotyczyła zbiornika Koparki (tab. 3).



Rys. 30. Zawartość SiO₂ i straty prażenia oznaczone w próbkach osadów dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (numeracja zbiorników wodnych jak na rys. 29)

Fig. 30. SiO₂ content and loss on ignition determined for samples of bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (water body numbering as in Fig. 29)

Tlenek żelaza jako nieorganiczny związek chemiczny jest nieszkodliwy dla środowiska naturalnego, a jego występowanie dość powszechne. Zawartość Fe₂O₃ w zbadanych próbkach osadów wynosi od 2,07 do 13,08%. Wyższą koncentrację Fe₂O₃ wykazują osady dennie zbiorników zajmujących wyrobiska piasku oraz położone w zlewniach o dużym udziale utworów piaszczystych (np. Morawa, Borki Małe, Łąka). W niektórych zlewniach Fe₂O₃ może być konsekwencją występowania śladowych, darniowych rud żelaza. Nie można również wykluczyć wpływu na osady dennie lokalnych składowisk odpadów lub procesów przemysłowych w hutnictwie

Zawartość MnO w badanych próbkach osadów dennych waha się w granicach od 0,03% w osadach zbiorników Wielikąt i Makoszowy Las do 0,75% w osadach zbiornika Hubertus I, a średnia arytmetyczna, mediana i odchylenie standardowe wynoszą odpowiednio: 0,18%, 0,15% i 0,15%

Koncentracja MgO w osadach dennych waha się w granicach od 0,33% w osadach zbiornika Ostrożnica do 13,30% w osadach zbiornika Koparki, przy czym jest to wartość o rząd wielkości większa od pozostałych rezultatów. Średnia arytmetyczna zawartość MgO dla wszystkich badawczych obiektów wynosi 1,20%, nieco mniejsza jest mediana (0,81%), a odchylenie standardowe 1,84%.

Zawartość oznaczonego CaO w próbkach osadów dennych wynosi od 0,43% do 30,69%, przy średniej arytmetycznej 8,35% (mediana — 3,83%, odchylenie standardowe — 9,18%). Duży udział wapnia w osadach dennych niektórych zbiorników wynika z występowania w budowie geologicznej ich zlewni węglanowych utworów triasowych, aczkolwiek częściowo może być też pochodną antropopresji rolniczej (jeśli zlewnie zajmują grunty o charakterze rolniczym), co naraża środowisko wodne na obciążenie materiałem nawozowym z udziałem tego pierwiastka

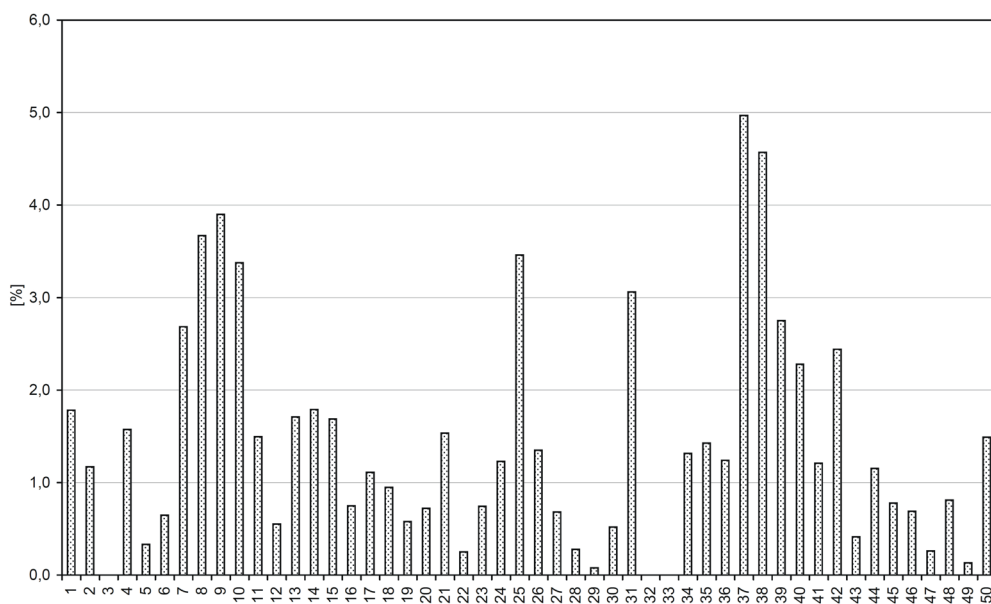
Najwyższa koncentracja tlenu sodu oznaczona została w próbkach osadów dennych ze zbiornika Gliniok (1,13%), a najniższa w osadach Koparki (0,05%). Średnia arytmetyczna występowania tego nieorganicznego związku chemicznego wynosi 0,5%, przy zbliżonej medianie 0,47% i odchyleniu standardowym 0,22%.

Tlenek potasu w badanych próbkach oznaczony został w ilościach od 0,16% do 2,49% (średnia arytmetyczna 1,51%, mediana 1,48%, odchylenie standardowe 0,48%). Dość powszechną obecność tego nieorganicznego związku chemicznego (poza naturalnym występowaniem potasu) można utożsamiać z zawartością tego pierwiastka w pochodzących z ługowania użytych materiałów budowlanych, a także z nawozów stosowanych w rolnictwie.

Zawartość TiO_2 w badanych próbkach osadów dennych waha się w granicach od 0,06% w osadach zbiornika Koparki do 1,02% w osadach zbiornika Makoszo-wy Las, a średnia arytmetyczna, mediana i odchylenie standardowe wynoszą odpowiednio: 0,56%, 0,60% i 0,19%

P_2O_5 w badanych próbkach oznaczony został w ilości od 0,06% (zbiornik Koparki) do 5,28% (rozlewisko Bobrka), co było wynikiem rekordowym w porównaniu do pozostałych rezultatów oznaczeń, które pozwoliły ustalić średnią arytmetyczną na poziomie 0,33%, medianę — 0,20% i odchylenie standardowe — 0,73%. P_2O_5 oznaczony w próbkach wskazuje na dość powszechną i wyrównaną obecność fosforu w osadach dennych — poza wspomnianą, wysoką zawartością maksymalną w jednym przypadku. Są to koncentracje ni przekraczające 1%. Pochodzenie fosforu w osadach dennych należy wiązać z procesami naturalnymi (np. ługowaniem biopierwiastków ze skał występujących na terenie zlewni), a także ze źródłami antropogenicznymi (np. zrzutami ścieków socjalno-bytowych, komunalnych i przemysłowych oraz spływami z terenów użytkowanych rolniczo).

Zawartość siarki waha się w zakresie od 0,0% (nie została stwierdzona w osadach dennych zbiorników Pogoria I, Kozłowa Góra i Przeczyce) do 4,97% w osadach dennych południowej misy zbiorników Pekin w Sosnowcu (rys. 31). Średnia arytmetyczna oznaczeń w osadach dennych wszystkich zbiorników wodnych wynosi 1,43%, a mediana 1,19%, przy odchyleniu standardowym 1,22%. Wynika z tego, że siarka jest jednym z powszechnych składników osadów dennych większości zbiorników wodnych, zwłaszcza pozostających pod wpływem antropopresji przemysłowej (zbiorniki:



Rys. 31. Zawartość siarki w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (numeracja zbiorników wodnych jak na rys. 29)

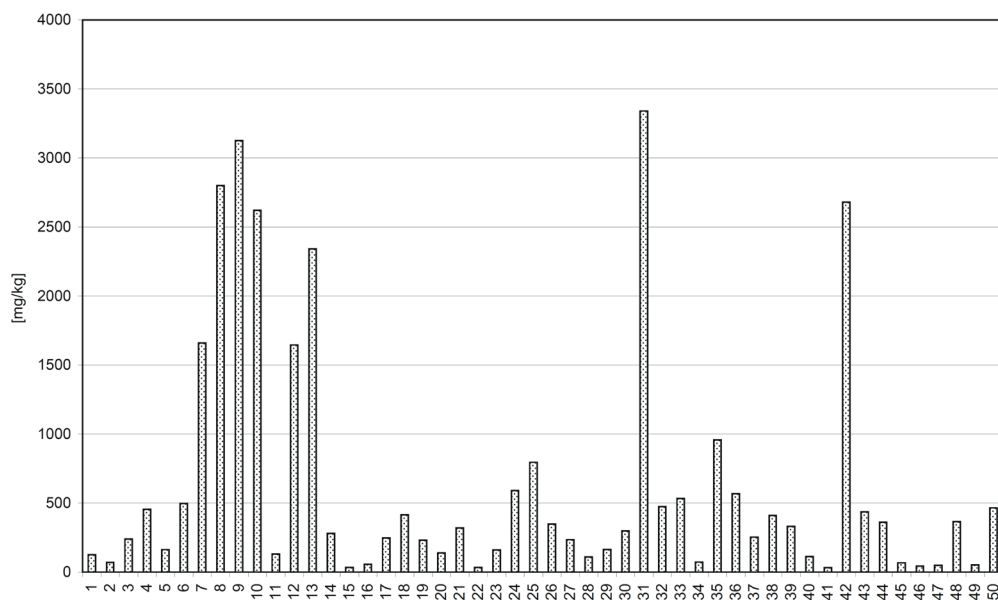
Fig. 31. Sulfur content in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (water body numbering as in Fig. 29)

Pekin, Morawa, Hubertus, Gliniak, Stawiki, Łąka, Brzeziny, Makoszowy Niecka). Taki rozkład występowania siarki w osadach dennych można traktować jako odzwierciedlenie nasilenia procesów przemysłowych w sąsiedztwie zbiorników wodnych. Pierwiastek ten, chociaż nie powoduje silnych zatruc w wielu związkach jest uznawany za toksyczny, ale jednocześnie jest niezbędny dla funkcjonowania organizmów.

Oprócz makroskładników w osadach dennych występują także tzw. pierwiastki śladowe. Obecność mikroskładników w środowisku przyrodniczym warunkują zarówno procesy naturalne (np. wietrzenie skał, erupcje wulkanów, pożary lasów), jak i dostawa ze źródeł antropogenicznych (np. procesy przemysłowe, komunikacja). Niektóre pierwiastki śladowe jako mikroelementy są niezbędne do funkcjonowania organizmów (np. cynk, miedź), a inne uznaje się za całkowicie zbędne, a nawet szkodliwe (np. ołów, kadm, chrom, nikiel). Ogólnie metale ciężkie — zwłaszcza ołów, kadm, miedź — uznaje się za groźne dla ludzi ze względu na toksyczne oddziaływanie (Kabata-Pendias, Pendias, 1979).

Przeciętna zawartość ołowiu w skorupie ziemskiej jest oceniana przez A. Kabatę-Pendias i H. Pendiasa (1979) na około 12,5 mg/kg. Naturalna zawartość ołowiu w osadach rzecznych Europy jest szacowana na około 14 mg/kg (Salminen, 2005). Tło geochemiczne ołowiu dla osadów wód powierzchniowych w Polsce oceniane jest na 13 mg/kg (Lis, Pasieczna, 1995a), natomiast dla osadów wód powierzchniowych regionu śląsko-krakowskiego wynosi aż 59 mg/kg (Lis, Pasieczna, 1995b). Ołów jest mało mobilny w glebach, a w środowisku wodnym bywa często całkowicie zaad-

sorbowany w osadach. Duże koncentracje ołowiu w środowisku są związane z zanieczyszczeniami przemysłowymi i użytkowaniem dróg (Jaguś i in., 2013). W wielu regionach świata jego źródłem jest transport, chociaż skuteczne wysiłki na rzecz wyeliminowania ołowiu jako komponentu paliw przyniosły spodziewane efekty mniejszego zanieczyszczenia. Ołów jest traktowany jako pierwiastek zbędny w organizmach zwierząt i ludzi, aczkolwiek rośliny wykazują dużą tolerancję nawet na podwyższoną zawartość tego metalu. Ołów jest traktowany jako pierwiastek o toksycznym działaniu (Osman i in., 1998). Powoduje poważne zakłócenia metaboliczne. U zwierząt i ludzi objawy przewlekłego zatrucia ołowiem mogą być różnorodne, np. konwulsje, niedokrwistość, zaburzenia enzymatyczne i mutagenne (Kabata-Pendias, Pendias, 1993). Zawartość ołowiu w osadach dennych badanych zbiorników wodnych wynosi od 32 mg/kg (zbiornik Zabrze+Makoszowy Las) do 3340 mg/kg (zbiornik przy hałdzie w Piekarach Śląskich — Brzezinach). Średnia arytmetyczna wyliczona z wszystkich pomiarów zawartości ołowiu w osadach dennych wynosi 638,5 mg/kg, przy medianie równej 308,5 mg/kg i odchyleniu standardowym wynoszącym 886,7 mg/kg (rys. 32). Biorąc pod uwagę zakres naturalnego występowania ołowiu w osadach wód powierzchniowych regionu śląsko-krakowskiego, określony przez J. Lis i A. Pasieczną (1995b) na 59 mg/kg, można stwierdzić brak wyższych koncentracji w przypadku tylko siedmiu zbiorników wodnych (Zabrze+Makoszowy Las, Pławniowice, Milicyjny, Wielikąt, Łęczczok, Harmężę i Mały Zalew). W pozostałych przypadkach koncentracja ołowiu w osadach jest wyższa od wspomnia-

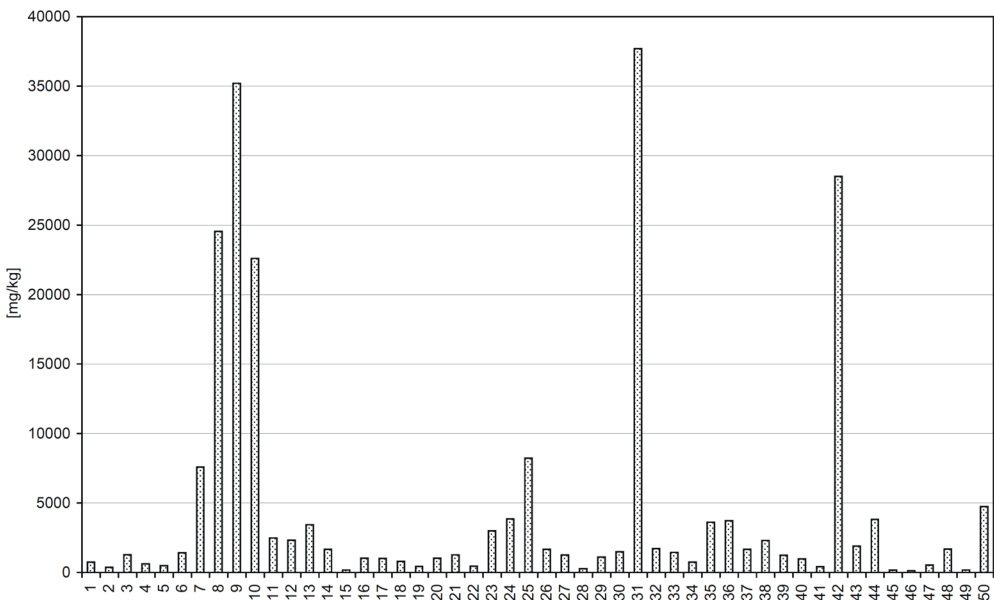


Rys. 32. Zawartość ołowiu w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego: (numeracja zbiorników wodnych jak na rys. 29)

Fig. 32. Lead content in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (water body numbering as in Fig. 29)

nego zakresu naturalnego występowania tego pierwiastka. Rekordowo wysokie stężenie ołowiu dotyczy osadów dennych zbiorników wodnych położonych w sąsiedztwie hut metali nieżelaznych i hałd odpadów hutniczych (zbiorniki Brzeziny, Hubertus I).

Średnia zawartość cynku w skorupie ziemskiej wynosi 50 mg/kg. Jest to pierwiastek, którego rozpuszczalność połączeń oraz desorpcja maleją proporcjonalnie w miarę wzrostu odczynu gleby, a tym samym największą koncentrację osiąga on w środowisku kwaśnym (Kabata-Pendias, Pendias, 1979). Źródłem rozprzestrzeniania cynku w środowisku jest głównie górnictwo i przetwórstwo metali. Największe stężenia tego metalu notowane są w pobliżu hut metali nieżelaznych. Stopień toksyczności cynku w wodzie na ogół nie jest duży, lecz jego obecność zwiększa toksyczne działanie miedzi, niklu i kadmu (Świdarska-Bróź, 1993). Ocenia się, że działanie toksyczne dla ryb cynk wykazuje przy stężeniu powyżej 100 $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ (Jaguś i in., 2013). Cynk w nadmiarze skutkuje niedokrwistością (co niekorzystnie wpływa na przyswajalność innych pierwiastków), odkłada się w nerkach i wątrobie, uważany jest również za czynnik rakotwórczy (Kabata-Pendias, Pendias, 1993). Cynk w osadach dennych badanych zbiorników wodnych występuje w ilości od 116,0 mg/kg (zbiornik Wielikąt) do 37 700 mg/kg (zbiornik Brzeziny). Średnia arytmetyczna wyliczona z wszystkich pomiarów zawartości cynku w osadach dennych wynosi 4579,3,6 mg/kg, przy medianie równej 1431,5 mg/kg i odchyleniu standardowym wynoszącym 8827,4 mg/kg (rys. 33). Regionalne tło geochemiczne cynku, określone

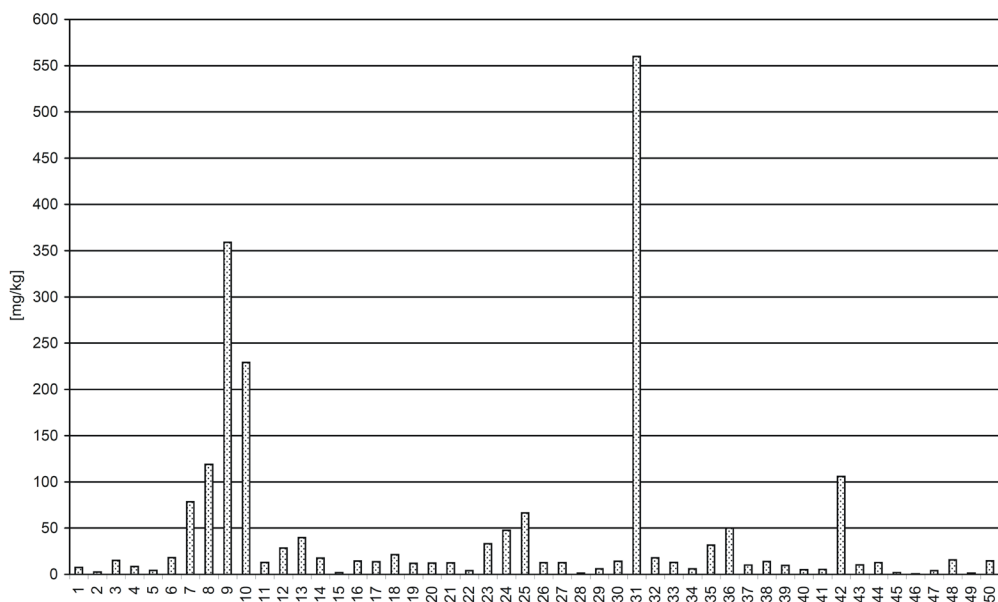


Rys. 33. Zawartość cynku w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (numeracja zbiorników wodnych jak na rys. 29)

Fig. 33. Zinc content in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (water body numbering as in Fig. 29)

przez J. Lis i A. Pasieczną (1995b) na poziomie 259 mg/kg, nie zostało przekroczone tylko w przypadku czterech akwenów (Pławniowice, Kradziejówka, Wielikąt i Harmężę). Najwyższą koncentrację cynku stwierdzono w osadach zbiorników położonych w sąsiedztwie ośrodków hutnictwa rud cynku i ołowiu oraz składowisk odpadów hutnictwa metali nieżelaznych (zbiorniki Brzeziny, Hubertus I).

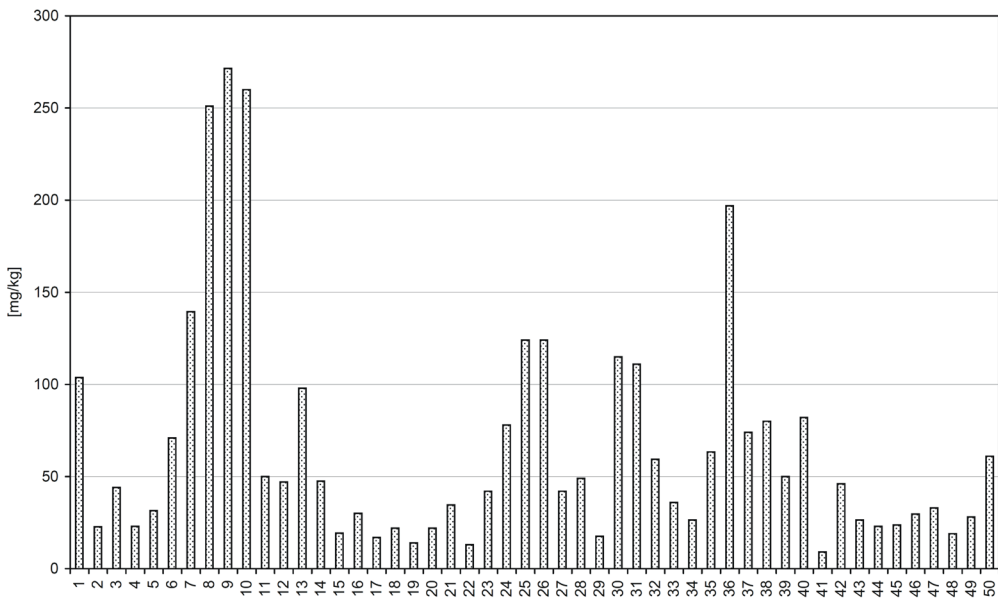
Przeciętna zawartość kadmu w skorupie ziemskiej wynosi 0,15—0,20 mg/kg. Kadm jest pierwiastkiem o wysokim stopniu toksyczności i stanowi zagrożenie dla zwierząt i człowieka (Bennet-Chambers i in., 1999). Kadm jest pierwiastkiem, który łatwo się wchłania i akumuluje w tkankach, a głównym jego źródłem w pożywieniu są ryby (Olmedo i in., 2013). Skutkiem długotrwałego zatrucia kadmem są uszkodzenia nerek, wątroby, jąder, gruczołu krokowego. Nadmiar kadmu może też powodować niedokrwistość, nadciśnienie tętnicze, problemy z krążeniem, odwapnienie kości, zanik mięśni (Kabata-Pendias, Pendias, 1993). W badanych zbiornikach wodnych zalegają osady zawierające od 0,8 mg/kg do 560 mg/kg kadmu (średnia arytmetyczna — 42,3 mg/kg, mediana — 13,03 mg/kg, odchylenie standardowe — 96,4 mg/kg). Przyjmując za J. Lis i A. Pasieczną (1995b) tło geochemiczne kadmu w osadach dennych na poziomie 2,5 mg/kg można wskazać tylko 5 akwenów, w których nie zostało ono przekroczone, a są to: Pławniowice, Gliniok, Kradziejówka, Wielikąt, Harmężę. Podobnie jak w przypadku cynku i ołowiu, najwyższa koncentracja kadmu ma miejsce w przypadku osadów dennych zbiorników wodnych położonych w zasięgu oddziaływania ośrodków hutnictwa metali nieżelaznych (rys. 34).



Rys. 34. Zawartość kadmu w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (numercja zbiorników wodnych jak na rys. 29).

Fig. 34. Cadmium content in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (water body numbering as in Fig. 29).

Miedź występuje powszechnie w skorupie ziemskiej — przeciętnie jest to 15 mg/kg (Kabata-Pendias, Pendias, 1979). Obszary najbardziej narażone na skażenie miedzią to rejon wydobywania oraz obszary przyległe do hut tego metalu. Ważnym źródłem zanieczyszczeń rzek i jezior miedzią są ścieki komunalne i przemysłowe. Miedź (Cu) łatwo i szybko adsorbuje się na cząstkach zawieszonych. Dla roślinności miedź jest pierwiastkiem silnie toksycznym. Spożywanie pokarmów i wody z zawartością miedzi może być szkodliwe dla organizmu (Bennet-Chambers i in., 1999). Zwiększona zawartość tego pierwiastka w pożywieniu może doprowadzić do zatrucia, spadku hemoglobiny, niekorzystnych zmian metabolicznych, uszkodzenia wątroby i nerek (Kabata-Pendias, Pendias, 1993). Stężenie miedzi w osadach dennych jest najmniejsze w zbiorniku Makoszowy Las (9,0 mg/kg), natomiast największe (271,5 mg/kg) w zbiorniku Hubertus I, przy średniej arytmetycznej 66,0 mg/kg (mediana — 45,0 mg/kg, odchylenie standardowe — 63,1 mg/kg). Osady dennie tylko trzech zbiorników wodnych (Rogoźnik zachodni, Milicyjny, Makoszowy Las) nie przekraczają naturalnej koncentracji miedzi ustalonej dla regionu śląsko-krakowskiego przez J. Lis i A. Pasieczną (1995b) na 15 mg/kg (rys. 35).

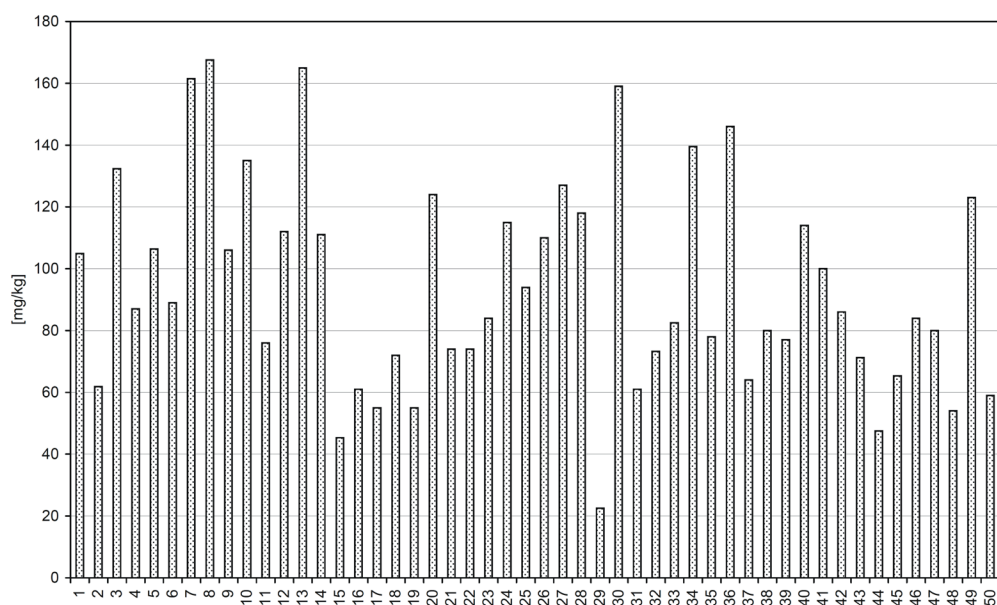


Rys. 35. Zawartość miedzi w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (numeracja zbiorników wodnych jak na rys. 29)

Fig. 35. Copper content in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (water body numbering as in Fig. 29)

Chrom jest pierwiastkiem migrującym przede wszystkim w środowiskach bardzo kwaśnych i redukcyjnych lub zasadowych i utleniających, nie podlega też silnej bioakumulacji (Kabata-Pendias, Pendias, 1979). Tło geochemiczne chromu

w różnych skałach osadowych wynosi 5—120 mg/kg (Kabata-Pendias, Pendias, 1993). Toksyczność chromu dla organizmów wodnych oraz człowieka ogólnie nie jest duża, nie podlega on też kumulacji w tkankach, jednak obecność chromu sześciowartościowego jako łatwo rozpuszczalnego jest toksyczna dla roślin i ludzi (Wilk, Gworek, 2009). W osadach dennych zbiorników wodnych na obszarze górnośląsko-zagłębiowskim chrom występuje w ilości od 22,5 mg/kg w osadach zbiornika Koparki do 167,5 mg/kg w osadach zbiornika Morawa. Średnie stężenie chromu obliczone na podstawie danych ze wszystkich akwenów wynosi 93,8 mg/kg (mediana — 85,0 mg/kg, odchylenie standardowe — 34,1 mg/kg). W osadach dennych wszystkich zbiorników wodnych chrom przekracza stężenie uznawane za naturalne, które przez J. Lis i A. Pasieczną (1995b) zostało określone na 9 mg/kg (rys. 36).

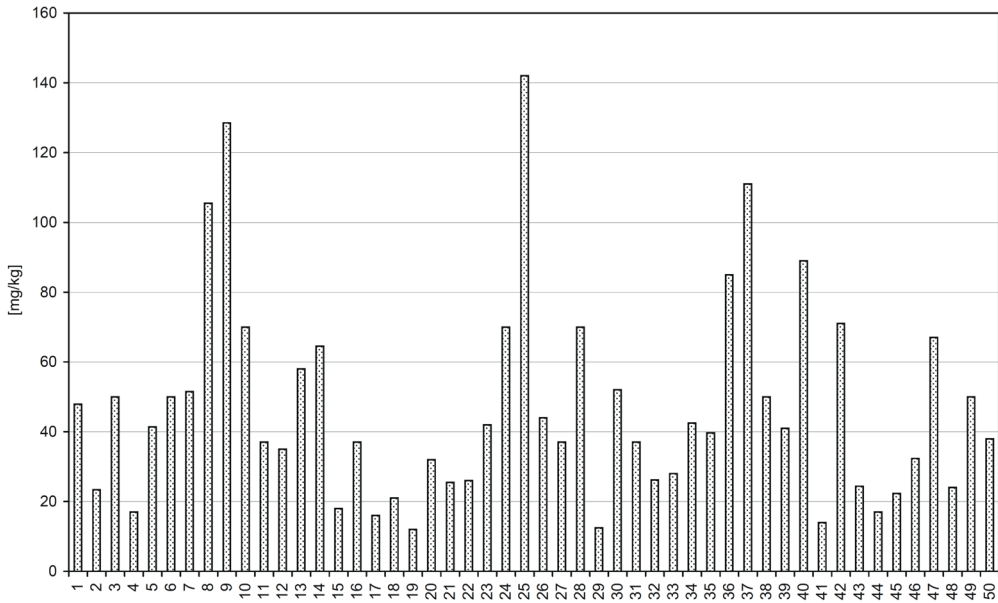


Rys. 36. Zawartość chromu w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (numeracja zbiorników wodnych jak na rys. 29)

Fig. 36. Chromium content in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (water body numbering as in Fig. 29)

Nikiel występuje w skorupie ziemskiej przeciętnie w ilości 100 mg/kg, łatwo podlega bioakumulacji, ale w środowisku kwaśnym jego rozpuszczalność i stężenie są duże, co szkodliwie działa na rośliny (Kabata-Pendias, Pendias, 1979). Toksyczność niklu wynika z dużej ruchliwości i możliwości kumulacji zarówno w glebie, jak i w roślinach, np. w zbożach (Wilk, Gworek, 2009). Nikiel w nadmiarze ulega akumulacji w węzłach limfatycznych, może zaburzać strukturę kwasów nukleinowych, może odpowiadać za zmiany szpiku kostnego, wywoływać egzemę i powodować choroby nowotworowe (Kabata-Pendias, Pendias, 1993). Najmniejszą zawar-

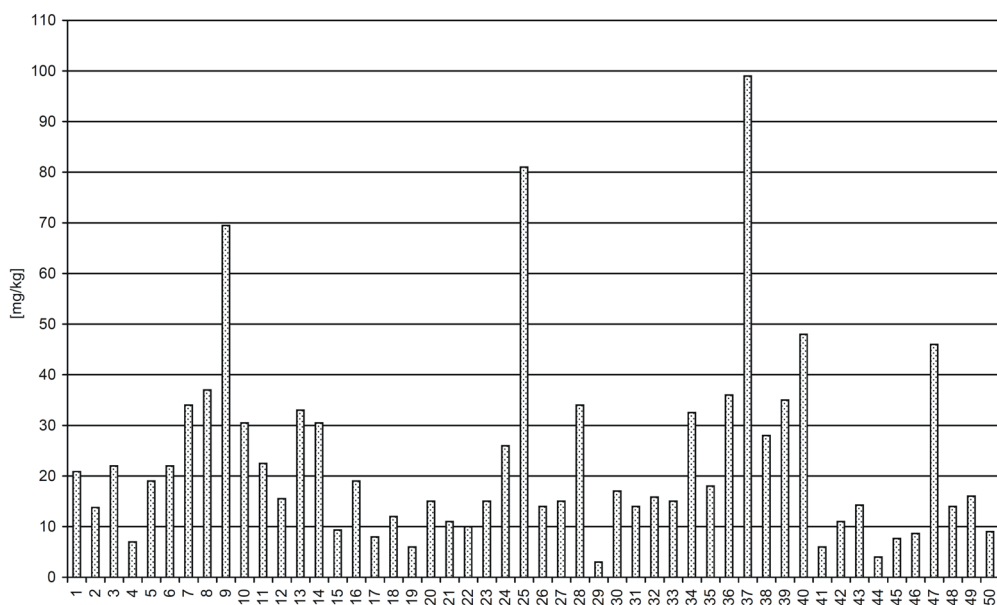
tość niklu stwierdzono w osadach ostatniego akwenu kaskady zbiorników Rogoźnik (12 mg/kg), natomiast największą (142,0 mg/kg) w osadach zbiornika Łąka (średnia arytmetyczna — 46,9 mg/kg, mediana — 40,3 mg/kg, odchylenie standardowe — 29,4 mg/kg). Podobnie jak w przypadku miedzi, nikiel przekracza stężenie uznawane za naturalne w osadach dennych wszystkich zbiorników wodnych, które przez J. Lis i A. Pasieczną (1995b) zostało określone na 11 mg/kg (rys. 37).



Rys. 37. Zawartość niklu w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (numeracja zbiorników wodnych jak na rys. 29)

Fig. 37. Nickel content in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (water body numbering as in Fig. 29)

Kobalt występuje w litosferze w ilości około 40 mg/kg, łatwo podlega utlenianiu i migracji w roztworach wodnych oraz jest intensywnie sorbowany (Kabata-Pendias, Pendias, 1979). Źródłem kobaltu w ekosystemach wodnych może być w dużej części denudacja naturalnego środowiska skalnego i glebowego (Świdarska-Bróż, 1993). W osadach dennych rzek Polski kobalt jest reprezentowany w ilości od 25 do 78 mg/kg (Dojlido, 1995). Kobalt wykazuje toksyczność dla organizmów wodnych dopiero w dużych stężeniach, np. dla ryb w ilości kilkudziesięciu mg w dm³ wody, przy czym w zamkniętych zbiornikach wodnych następuje jego intensywna bioakumulacja, co sprawia, że zostaje on włączony w łańcuch pokarmowy (Kabata-Pendias, Pendias, 1979). Kobalt został wykryty w osadach dennych badanych zbiorników wodnych w ilości od 3 mg/kg (zbiornik Koparki) do 99 mg/kg (zbiornik Pekin — misa S). Oznaczone stężenia Co są poza osadami jednego zbiornika wodnego (Koparki) — w każdym przypadku wyższe od regionalnego tła geochemicznego określonego przez J. Lis i A. Pasieczną (1995b) na 4 mg/kg (rys. 38).



Rys. 38. Zawartość kobaltu w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (numercja zbiorników wodnych jak na rys. 29)

Fig. 38. Cobalt content in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (water body numbering as in Fig. 29)

Równie dużym zróżnicowaniem występowania w osadach dennych badanych zbiorników charakteryzuje się dwadzieścia kolejnych pierwiastków, których stężenia pokazuje tab. 4. W morfologicznej ewolucji mis badanych zbiorników wodnych odgrywają one mniejszą rolę, głównie jako pierwiastki śladowe, tym niemniej są analizowane ze względu na swoje właściwości środowiskowe, np. możliwą toksyczność zależną od stężenia. Obecność tych pierwiastków w osadach dennych wynika z uwarunkowań naturalnych bądź jest pochodną oddziaływań antropogenicznych.

Niektóre z tych pierwiastków są metalami ziem alkalicznych (np. beryl, bar, stront) i występują w skorupie ziemskiej rzadziej niż najbardziej rozpowszechnione z tej grupy pierwiastków wapń i magnez.

Powszechnie wykorzystywany w przemyśle stront występuje w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego w ilościach od 64 mg/kg do 1037,5 mg/kg (średnia — 183,1 mg/kg, mediana — 127,0 mg/kg). Koncentracja baru wynosi od 261,5 mg/kg do 19200 mg/kg (w odosobnionym przypadku), przy czym średnia arytmetyczna wszystkich oznaczeń odpowiada 972,2 mg/kg, a mediana jest niższa i wynosi 503,3 mg/kg. Naturalna zawartość strontu w skałach skorupy ziemskiej jest szacowana na 150 mg/kg, a baru 240 mg/kg (Kabata-Pendias, Pendias, 1979).

Beryl jest pierwiastkiem toksycznym, a szczególnie szkodliwe są niektóre jego związki. Jak podaje A. Kabata-Pendias i H. Pendias (1979), obecność berylu wywołuje zatrucie organizmu, które powoduje ostre zmiany w tkankach, zapalenia układu

Tabela 4. Podstawowe charakterystyki występowania wybranych pierwiastków w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-załębiowskiego

Table 4. Basic characteristics related to the presence of selected elements in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region

Pierwiastek Element	Jednostka Unit	Tło geochemiczne — różne skały osadowe (wg: Kabata-Pendias, Pendias, 1993) Geochemical background for various sedimentary rocks (after Kabata-Pendias, Pendias 1993)	Minimum Minimum	Kwartyl 1 First quartile	Mediana Median	Kwartyl 3 Third quartile	Maksimum Maximum	Średnia Average	Odchylenie standardowe Standard deviation
Ba	mg/kg	50 — 800	261,5	423,0	503,3	671,3	19 200,0	972,2	2 648,1
Be	mg/kg	0,2 — 6,0	1,0	2,0	2,0	3,0	8,0	2,6	1,3
Sr	mg/kg	20 — 600	64,0	106,4	127,0	193,0	1 037,5	183,1	153,9
Ce	mg/kg	7 — 90	7,0	53,5	65,5	88,1	241,0	70,3	33,2
Eu	mg/kg	0,2 — 2,0	0,6	1,0	1,3	1,8	2,3	1,3	0,4
Nd	mg/kg	4,7 — 41,0	9,0	22,0	26,0	34,7	53,3	27,7	9,8
Sm	mg/kg	1,3 — 22,1	0,5	4,2	5,8	7,0	9,8	5,6	2,0
Hf	mg/kg	brak danych/no data	2,2	5,1	8,3	13,2	36,0	10,5	7,3
Zr	mg/kg	20 — 220	36,0	177,4	283,5	494,6	1 822,0	370,4	312,5
La	mg/kg	4 — 90	3,5	26,7	34,4	42,2	69,1	34,7	12,3
V	mg/kg	10 — 130	12,5	55,2	70,5	84,4	152,0	71,2	26,4
Sc	mg/kg	0,5 — 15,0	1,3	7,1	9,1	10,6	18,6	9,2	3,4
Y	mg/kg	4 — 50	4,0	19,1	25,4	30,0	51,3	25,0	9,1
Th	mg/kg	1,7 — 12	1,1	6,8	8,9	10,8	20,4	9,2	3,7
U	mg/kg	0,45 — 4,00	1,5	3,1	3,5	4,3	6,6	3,8	1,3
Cs	mg/kg	0,5 — 10,0	1,8	4,2	6,5	8,3	134,0	9,9	18,7
Rb	mg/kg	5 — 200	20,5	50,0	63,7	80,0	160,0	70,2	30,2
As	mg/kg	1,0 — 13,0	7,0	17,6	25,5	39,7	325,5	49,7	67,1
Sb	mg/kg	0,03 — 2,00	0,9	1,9	3,5	7,5	69,8	8,6	13,0
Br	mg/kg	1 — 10	2,0	6,0	11,3	16,8	90,0	15,1	15,3

oddechowego, stany zapalne skóry, a nawet jest jednym z czynników rakotwórczych. Głównym źródłem antropogenicznym tego metalu w środowisku przyrodniczym jest proces spalania paliw, dlatego w migracji do wód powierzchniowych w regionie dużą rolę odgrywa kontakt mis zbiornikowych ze zwałowiskami skał płonnych, pyłów z elektrowni, ścieków komunalnych i przemysłowych. W osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego występuje w ilościach 1-8 mg/kg, czyli dużo mniejszych niż zawartość naturalna, określona na 60 mg/kg w skorupie ziemskiej i równych lub większych od zawartości typowej (2 mg/kg) dla skał osadowych.

Kilka z oznaczonych pierwiastków należy do tak zwanych lantanowców (cer, europ, neodym, samar), których rozprzestrzenienie ocenia się jako śladowe w skorupie ziemskiej (Kabata-Pendias, Pendias, 1979). Chociaż niektóre z nich w większych stężeniach wykazują właściwości radiotoksyczne, to w spotykanych w badanych osadach dennych koncentracjach nie są utożsamiane z zagrożeniem ekologicznym.

Wspólnie występujące hafn i cyrkon wraz z lantanem należą do pierwiastków chemicznych, zaliczanych do tzw. metali przejściowych. W zewnętrznej powłoczce skorupy ziemskiej Zr występuje średnio w ilości 167 mg/kg (Kabata-Pendias, Pendias, 1979). Lantan, który występuje w skorupie ziemskiej w ilości 18 mg/kg (Kabata-Pendias, Pendias, 1979), w badanych osadach dennych jego koncentracja wynosi od 3,5 mg/kg do 69,1 mg/kg. Stosowanym w gospodarce metalem jest wanad, którego naturalną obecność w skorupie ziemskiej ocenia się na 140 mg/kg, przy niższej zawartości w badanych osadach dennych. Metalem jest również skand o naturalnej koncentracji 11 mg/kg w skorupie ziemskiej (Kabata-Pendias, Pendias, 1979), w badanych osadach dennych spotykany również na podobnym poziomie. Itr jako kolejny metal, który występuje w skorupie ziemskiej na poziomie 30 mg/kg, został stwierdzony w badanych osadach dennych w podobnej ilości.

Również tor i uran zaliczane do aktywnowców w zbadanych próbkach osadów dennych występują w ilości odpowiadającej lub nieco wyższej od naturalnej koncentracji w skorupie ziemskiej, ocenianej odpowiednio na około 12 mg/kg i około 2,5 mg/kg.

Cez i rubid jako metale alkaliczne charakteryzują się dużą reaktywnością z wodą i silnie alkalizują środowisko. Są również uznawane, mimo łatwej rozpuszczalności, za pierwiastki mało ruchliwe i szybko sorbowane przez minerały ilaste (Kabata-Pendias, Pendias, 1979). Cez w badanych próbkach osadów dennych został stwierdzony w ilości 1,8—134,0 mg/kg. Rubid występuje w osadach dennych w zakresie od 20,5 mg/kg do 160 mg/kg.

Część z oznaczonych pierwiastków (arsen, antymon) to metaloidy wykazujące pośrednie właściwości między metalami a niemetalami. Ich obecność ma różny kontekst środowiskowy w osadach dennych zbiorników wodnych w regionie, ponieważ antropogenicznymi źródłami arsenu są wydobywanie i hutnictwo rud metali nieżelaznych, a także procesy spalania, a antymon jest dość powszechnie stosowany w niewielkich ilościach. Arsen i antymon przy zawartości naturalnej w litosferze wynoszącej odpowiednio do 18 mg/kg i 0,2 mg/kg (Kabata-Pendias, Pendias,

1979), w zbadanych osadach dennych zostały oznaczone w ilości od 7,0 mg/kg do 325,5 mg/kg (arsen) i 0,9—69,8 mg/kg (antymon).

Niemetalem jest brom, którego śladowe występowanie kontrastuje z toksycznym oddziaływaniem w dużych stężeniach, przy czym w skorupie ziemskiej występuje w ilości naturalnej, ocenianej na około 1 mg/kg (Kabata-Pendias, Pendias, 1979), a w zbadanych próbkach został wykryty na poziomie od 2 mg/kg do 90 mg/kg.

4.3. Modelowanie strefy brzegowej — zapis w osadach i formach terenu

Procesy brzegowe to zespół systemowo zachodzących — po obu stronach linii brzegowej naturalnego lub sztucznego zbiornika wodnego — zmian o charakterze mechanicznego i chemicznego oddziaływania wód limnicznych na wybrzeże. Wynikiem tego oddziaływania są przeobrażenia wszystkich elementów krajobrazu strefy litoralnej. Geomorfologicznym przejawem funkcjonowania procesów brzegowych jest zapis w osadach i formach terenu na brzegu, a w niektórych przypadkach także poza jego zasięgiem. Procesy brzegowe prowadzą do powstania wielu form brzegowych: mierzei, wałów brzegowych, zatok, klifów czynnych i martwych, cypli piaszczystych, delt i innych.

4.3.1. Klify

Abrazja jest procesem niszczenia skał i rozmywania osadów w wyniku działalności falującej wody, jak również mechanicznego wpływu cząstek mineralnych w niej obecnych. Procesy abrazji mogą dotyczyć brzegów o różnej wysokości, czyli zarówno płaskich, jak i wysokich. Za brzegi abrazyjne uznaje się odcinki, na których w dłuższym czasie ubywa osadów (Banach, 1994) i w konsekwencji nadwodna część brzegu ulega cofaniu o zróżnicowanej intensywności, a znajdująca się u podstawy klifu platforma abrazyjna zwiększa swoją powierzchnię. Abrazyjny rozmyw koluwiów może być utrudniony osiągnięciem przez platformę abrazyjną rozmiarów ograniczających horyzont działania fal (Banach, 1994), co oprócz obniżenia zwierciadła wody w akwencie uznaje za główną przyczynę powstawania klifów martwych. Ponowne podniesienie poziomu wody w zbiorniku (szczególnie znamienne dla obiektów charakteryzujących się dużymi amplitudami wahań stanów wody) może doprowadzić do ponownego uaktywnienia klifu (klif czynny), który określa się mianem odmłodzonego.

Na wybrzeżach badanych zbiorników wodnych klifowe wybrzeża nie mają zbyt dużej reprezentacji. Spotykane są najczęściej w obrębie zbiorników poeksploatacyjnych jako pozostałości skarp wyrobisk, czasami przy zbiornikach zaporowych, jako

abradowane poziomy terasowe lub zbocza doliny, sporadycznie przy innych akwenach wobec abrazyi antropogenicznie ukształtowanych grobli lub skarp. W większości przypadków są to klify czynne, ale w czasie niskich stanów wody znajdują się one okresowo poza zasięgiem fal, po czym ponownie przyjmują cechy klifu odmłodzonego podczas podpiętrzenia wody. Zmiany sytuacji geomorfologicznej w obrębie brzegów są szczególnie częste w przypadku zbiorników charakteryzujących się wahaniami stanów wody.

Okazałe klify na bazie krawędzi dawnych wyrobisk występują na wybrzeżach zbiorników poeksploatacyjnych (fot. 6, 7). Mają one charakter wybrzeża geomorfologicznie dość stabilnego, np. zbudowany z litych skał klif zbiornika Koparki odporny na procesy abrazyi bądź są podatne na abrazyjne modelowanie, np. zbiornik Dzierżno Duże.

Zmiany geomorfologiczne na wybrzeżach klifowych są najbardziej widoczne w zbiorniku Dzierżno Duże. W przypadku tego zbiornika przy rzędnej piętrzenia wody przekraczającej 200 m n.p.m. klify mają charakter klifu czynnego, którego rozwój polega na selektywnej likwidacji skarpy, odbywającej się na skutek abrazyjnego oddziaływania falowania. Cofaniu ścian skalnych o cechach epizodyczności i dużej intensywności, którego wielkość w okresie funkcjonowania zbiornika wyniosła od kilkudziesięciu centymetrów do czterech metrów, w zależności od sektora



Fot. 6. Klifowe wybrzeże zbiornika Kuźnica Warężyńska (fot. R. Machowski)



Fot. 7. Klifowe wybrzeże zbiornika Dzierżno Duże (fot. J. Krawczyk i M.A. Rzętała)

Photo 7. Cliff shore of the Dzierżno Duże water body (photo by J. Krawczyk and M.A. Rzętała)

zbiornika, towarzyszy powstawanie niewielkich powierzchniowo platform abrazyjnych. Najwyższymi wysokościami względnymi cechują się klifowe wybrzeża w środkowej części północnego brzegu (6—7 m) oraz na południowo-wschodnim odcinku wybrzeża (do 5 m). Na pozostałych odcinkach linii brzegowej wysokość klifu osiąga średnio 1—2 m wysokości. Klif czynny z niewielkimi podciosami rozwinął się również miejscami w obrębie sztucznie usypanych obwałowań. Przy obniżeniu zwierciadła wody w zbiorniku poniżej rzędnej 200 m n.p.m. następuje zmiana charakteru klifu z czynnego (żywego) na martwy. Wynurzone powierzchnie abrazyjne podlegają zrównywaniu, w którym udział bierze materiał pochodzący z niszczenia klifu. Materiał rumowiskowy jest deponowany na stoku misy jeziornej bądź jest przemieszczany wzdłuż wybrzeża i bierze udział w nadbudowie form akumulacyjnych. Z kolei rzeźba klifu martwego, będącego poza zasięgiem procesów brzegowych, jest modelowana przez wietrzenie, ruchy masowe oraz procesy eoliczne. W obrębie plaży o niewielkim nachyleniu, znajdującej się u podstawy klifu martwego, tworzą się nowe klify o wysokościach względnych, które maksymalnie dochodzą do 1 m wysokości. Ciągłość tego procesu prowadzi do wykształcenia kilku poziomów teras zbiornikowych. Kolejne podpiętrzenie wody w zbiorniku do rzędnej przekraczającej 200 m n.p.m. powoduje ponowne podcinanie klifów martwych (klif odmłodzony) oraz degradację wypreparowanych u jego podstawy form.

Z kolei w obrębie zbiornika Pogoria III brzegi klifu czynnego stwierdzono w pierwszej połowie lat 90. XX wieku (Rzętała, 1994) na obrzeżach akwenu budowanych przez piaski z domieszką materiału ilastego, które występują miejscami na wschodnim skraju zbiornika oraz najbardziej na północ wysuniętym cyplu jedyne półwyspu. O ile klifowe brzegi na wschodzie zbiornika w przeważającej części mają charakter martwy i mimo znacznej degradacji są jeszcze czytelne w postaci słabo zachowanych mikrozatok, o tyle rozwój klifowego wybrzeża półwyspu, polegający na selektywnej likwidacji skarpy, odbywa się na skutek abrazji, wietrzenia i czynników antropogenicznych. W pierwszej połowie lat 90. XX wieku obserwowano powiększenie platformy abrazyjnej oraz inicjalne kosa i mierzeje, sugerując końcowe stadium rozwoju brzegu wysokiego i zmianę jego charakteru z wybrzeża abrazyjnego wysokiego na płaskie akumulacyjne. Ostatnie kartowanie tej formy — przeprowadzone w listopadzie 2000 roku — potwierdza wystąpienie brzegu płaskiego akumulacyjnego z okresowo zalewanym cyplem piaszczystym (Rzętała, 2003). Klifowe wybrzeża miejscami są również charakterystyczne dla brzegu zachodniego, gdzie intensywnie zachodzą procesy abrazji, które w związanych utworach tworzą podciosy brzegowe. M. Rzętała (1994) pisze, że miejsca o mniejszej spistości wypreparowane są w postaci mikrozatoczek o brzegach wysokich na 1,5—2 m, a tempo abrazji na niektórych odcinkach cechuje duża dynamika, o czym świadczy fakt cofnięcia ściany w okresie 25 miesięcy o blisko 2 m, co spowodowało zagrożenie przebiegającej wzdłuż jeziora drogi i zdecydowało o sztucznym umocnieniu brzegu. Jest to jeden z nielicznych przypadków negatywnych skutków o charakterze gospodarczym, powodowanych przez procesy abrazyjne.

4.3.2. Terasy

Terasy na wybrzeżach omawianych zbiorników wodnych są schodowymi formami o abrazyjno-akumulacyjnej genezie, najczęściej tworzącymi się na nachylonych powierzchniach wybrzeża, w konsekwencji oddziaływania wody w warunkach jej zmiennego stanu (poziomu piętrzenia). Formy te praktycznie nie występują na wybrzeżach akwenów niewielkich (do kilku ha powierzchni) lub są wypreparowane w postaci zwykle efemerycznych mikroteras. Pojedyncze terasy utworzyły się na wybrzeżach zbiorników o stabilnym położeniu zwierciadła wody. Większe terasy, a zwłaszcza powierzchnie z systemami kilku poziomów terasowych, powstają podczas systematycznego, aczkolwiek skokowego obniżania poziomu wody w zbiorniku. Woda oddziałująca na materiał brzegowy tworzy półkę nieznacznie nachyloną w kierunku toni wodnej, na której następuje depozycja materiału pochodzącego z abrazji progu terasy. Poszczególne poziomy terasowe ograniczają progi, których wysokość jest wyznaczana przez wielkość ostatniego obniżenia stanu wody (poziomu piętrzenia). Terasy występujące na większości wy-

brzeży omawianych zbiorników wodnych są formami nietrwałymi, z uwagi na następujący podczas podpiętrzania wody w zbiorniku proces abrazji, prowadzący do ich degradacji (fot. 8). Wobec szerokiego zakresu wahań stanów wody najwyższe poziomy terasowe, będące zapisem maksymalnego zasięgu horyzontu falowania oraz najwyższego poziomu wody, mogą przetrwać stosunkowo długo, ponieważ maksymalne poziomy piętrzenia są stosunkowo rzadko osiąganymi — w takich warunkach degradację teras warunkują np.: wody opadowe, spływ powierzchniowy, działalność człowieka.



Fot. 8. Plaża z systemem różnej wysokości półek terasowych na wybrzeżu zbiornika Dzierżno Duże (fot. M. Rzętała)

Photo 8. A beach with a system of terrace ledges at different heights on the shore of the Dzierżno Duże water body (photo by M. Rzętała)

Najbardziej okazałe systemy terasowe powstają na wybrzeżach zbiorników wodnych o największym zakresie wahań stanów wody, a do takich należy zbiornik Dzierżno Duże. Wielokrotnie wyróżniono tam kilka teras o charakterze zalewowym, które odpowiadały rzędnym zwierciadła wody w zbiorniku utrzymującym się przez kilkadziesiąt dni w roku. Wysokość teras zbiornikowych (osiągająca wysokość nawet około 1 m) była zależna od czasu piętrzenia wody na tym samym poziomie oraz od intensywności falowania i spoistości materiału wybrzeża (fot. 9).



Fot. 9. Abradowany system teras zbiornikowych z początkowym stadium sukcesji roślinności na wybrzeżu zbiornika Dzierżno Duże (fot. M.A. Rzętała)

Photo 9. Abraded water body terrace system showing initial stages of plant succession on the shore of the Dzierżno Duże water body (photo by M. A. Rzętała)

4.3.3. Mikrozatoki

Mikrozatoki na wybrzeżach omawianych zbiorników wodnych powstają na skutek abrazji płaskiego lub klifowego wybrzeża, a ich wielkość jest zależna m.in. od podatności wybrzeża na niszczenie. Istotną rolę w procesie powstawania mikrozatok odgrywa roślinność krzewiasta i zielna, która przez system korzeniowy umacnia wybrzeże, a tym samym ogranicza tempo abrazji (Rzętała, 1998). Jednak, obecność mikrozatok urozmaica linię brzegową zbiorników, a same formy są elementami większych obiektów ukształtowania wybrzeża, wchodząc w skład np. klifów czynnych i teras. Podobnie można klasyfikować również okresowo pojawiające się żłobki erozyjne, znamienne dla tych powierzchni wybrzeża, które łagodnie opadają ku wodzie. W ich tworzeniu udział biorą procesy spłukiwania, wywołane przez wody opadowe lub pochodzące z przybrzeżnych młak i wysięków. Spływy oraz transport rumowiska odbywają się w kierunku zbiornika, a efektem są niewielkie żłobki erozyjne zakończone stożkami napływowymi, rozmywanymi przez fale. Często są również elementem rzeźby wyróżnianym w obrębie mikrozatok genetycznie związanych z wysiękami lub źródłami przybrzeżnymi i towarzyszącymi im procesami erozji wstecznej — system takich form można spotkać na wschodnim wybrzeżu zbiornika Pogoria III i południowo-wschodnim wybrzeżu zbiornika Pogoria I (fot. 10).



Fot. 10. Mikrozatoka abrazyjno-źródłiskowa na wybrzeżu zbiornika Pogoria I (fot. M.A. Rzętała)
Photo 10. Abrasion-headwater microbay on the shore of the Pogoria I water body (photo by M.A. Rzętała)

Mikrozatoki są powszechnym elementem rzeźby wybrzeży większości badanych zbiorników wodnych. Formy te są również pierwszą oznaką degradacji (niszczenia) wybrzeży umocnionych antropogenicznie. W przypadku tych brzegów można je uznać za swoiste formy progowe, gdyż czas ich formowania — czyli okres niszczenia korozyjnego elementów zabudowy hydrotechnicznej — przypada przed następującym później czasem szybkiego niszczenia mechanicznego tych elementów, wspomaganym procesami wietrzenia mechanicznego. Jako przykład można podać efekt miejscowego rozszczelnienia (w postaci mikrozatok) odwodnych stron zachodniego obwałowania zbiornika Świerklaniec oraz wybrzeża przylegającego do wschodniego przyczółka zapory czołowej zbiornika Przeczyce, a także fragmentów zabudowy systemu zrzutowo-upustowego zbiornika Dzierżno Duże.

4.3.4. Plaże

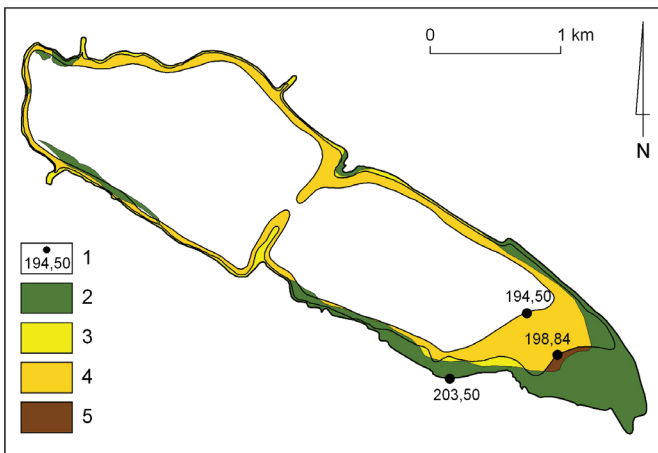
Plaże to formy akumulacyjne, aczkolwiek często w przypadku badanych zbiorników wodnych są utożsamiane z powierzchniami piaszczystymi, które są pozostałością pola eksploatacyjnego (fot. 11). Plaże są raczej rzadko spotykanym



Fot. 11. Plaża na południowym wybrzeżu zbiornika Dzierżno Duże (fot. M.A. Rzętała)

elementem wybrzeży zbiorników antropogenicznych. Większość plaż bardzo szybko od ich uformowania lub odsłonięcia przy niskich stanach wody jest utrwalana przez roślinność trawiastą, a nawet roślinność krzewiastą, w rozwoju której bardzo ważną rolę odgrywa tzw. sieczka roślinna, zdeponowana niejednokrotnie w postaci organicznego wału brzegowego. Duże tempo utrwalania powierzchni piaszczystych przez roślinność jest adekwatne do stopnia antropogenizacji wód zbiornikowych, wyrażonego poziomem nitrofilności podłoża. Wolniejszym rozwojem roślinności, a nawet całkowitym jego zahamowaniem charakteryzują się wybrzeża o litologii sprzyjającej szybkiemu przesuszaniu i ekspozycjach dogodnych dla oddziaływania wiatru. Na wybrzeżach tych obserwuje się rozwój procesów eolicznych, których najczęstszym efektem są mikroniecki deflacyjne oraz piaszczyste ripplemarki. Szczególnymi przykładami charakteryzowanych wybrzeży są: południowe wybrzeże zbiornika Pogoria III, fragment północnego brzegu zbiornika Przeczyce, półwyspy w środkowej części południowego i północnego wybrzeża zbiornika Dzierżno Duże (pozostałość rozmytej grobli dzielącej zbiornik na dwie części).

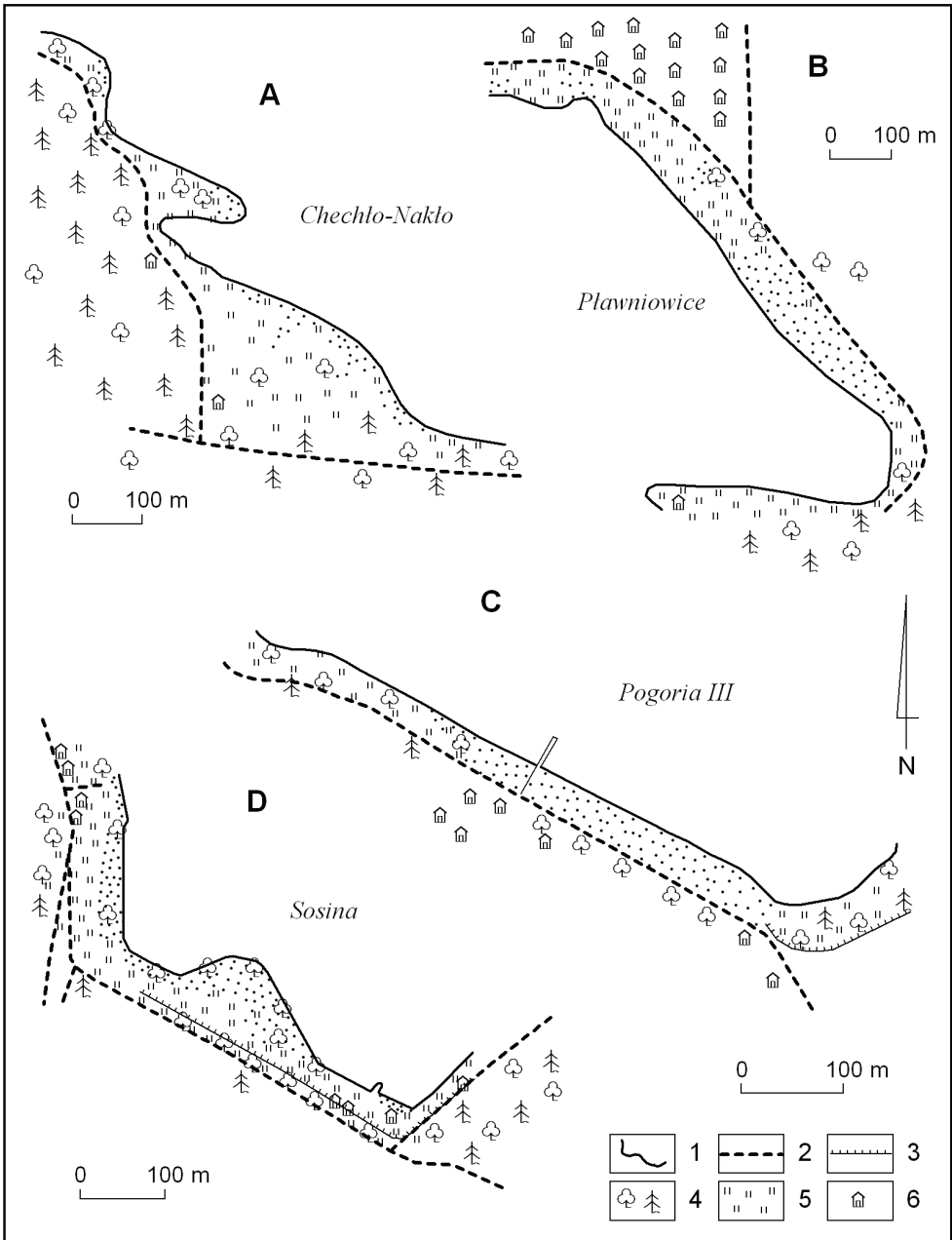
Sytuacją niemającą precedensu wśród badanych zbiorników wodnych, jeśli chodzi o odsłonięcie dna podczas niskich stanów wody, jest przypadek zbiornika Dzierżno Duże. Z ogólnej powierzchni zbiornika 5,53 km² (przy rzędnej 203,50 m n.p.m.) aż 1,68 km² stanowią powierzchnie odsłoniętego dna (przy rzędnej piętrzenia 194,50 m n.p.m.). Osuszone dno misy bardzo szybko jest kolonizowane przez roślinność (0,71 km²), część pozostaje jako powierzchnia zasadniczo pozbawiona pokrywy roślinnej (0,97 km²). Wobec szerokich zakresowo wahań stanów wody sytuacje osuszenia i zatapiania dna występują cyklicznie, praktycznie każdego roku (rys. 39).



Rys. 39. Zasięg plaży przy wysokim i niskim poziomie piętrzenia wody w zbiorniku Dzierżno Duże: 1 – rzędna piętrzenia wody w zbiorniku, 2 – zasięg roślinności kolonizującej deltę i powierzchnię plaży tożsamy z rozwojem procesów sedentacyjnych, 3 – zasięg plaży przy SSW (średni stan wody), 4 – zasięg plaży przy NNW (najniższym stanie wody), 5 – powierzchnia delty przy SSW (średni stan wody) nieskolonizowana przez roślinność.

Fig. 39. Beach boundaries at high and low water levels in the Dzierżno Duże water body:

1 – water level in the reservoir, 2 – extent of the vegetation colonising the delta and beach surface (coincident with the development of sedimentation processes), 3 – beach boundaries at medium water level, 4 – beach boundaries at the lowest water level, 5 – delta at the medium water level, uncolonised by vegetation.



Rys. 40. Plaże na powierzchniach poeksploatacyjnych na wybrzeżach zbiorników antropogenicznych Chechło-Nakło (A), Pławniowice (B), Pogoria III (C) i Sosina (D):
 1 – linia brzegowa, 2 – drogi i ścieżki spacerowe, 3 – pozostałości krawędzi poeksploatacyjnych, 4 – roślinność drzewiasta, 5 – roślinność trawiasta, 6 – elementy zabudowy, obiekty infrastruktury.

Fig. 40. Beaches on former mineral working surfaces on the shores of anthropogenic water bodies: Chechło-Nakło (A), Pławniowice (B), Pogoria III (C) and Sosina (D):

1 – shoreline, 2 – roads and walking paths, 3 – remains of exploitation edges, 4 – trees, 5 – grass, 6 – structures and infrastructure.

W określonych warunkach hydrologicznych oraz morfologicznych plaże ulegają przekształceniu w tzw. osuchy (mielizny). Są to brzegowe równiny piaszczyste lub muliste, odsłaniane spod wody w czasie niskiego jej stanu i zalewane przy stanie wysokim (Flis, 1982). Tego typu formy dość powszechnie występują w obrębie badanych zbiorników wodnych. We wschodniej części południowego wybrzeża zbiornika Dzierżno Duże jest to równina o powierzchni około 1 ha, odpowiadająca dawnemu poziomowi eksploatacyjnemu, pokryta osadami mulistymi o grubości 10—20 cm z wkraczającą latem roślinnością zielną. Osuchy występują także we wschodnim sektorze zbiornika Przeczyce, gdzie przyjmują postać rozległej powierzchniowo mielizny, nawiązującej do dna dawnej doliny rzecznej, odsłanianej w okresie niskich stanów wody w zbiorniku. W jej nadbudowywaniu udział biorą zarówno procesy sedymentacyjne rumowiska, jak i sedentacja, która genetycznie jest związana z intensywnym rozwojem roślinności zielnej żyznego podłoża i wód akwenu.

Z użytkowego punktu widzenia najwięcej korzyści dostarczają plaże piaszczyste (niezależnie, czy są związane genetycznie z akumulacją jeziorną czy stanowią pozostałość poeksploatacyjną poza zasięgiem wód zbiornika). Piaszczyste podłoże, najczęściej zbudowane przez piaski średnioziarniste o dobrym wysortowaniu, występuje na wybrzeżach wielu zbiorników wodnych (rys. 40) i jako teren rekreacyjny cieszy się ogromną popularnością. Utrzymaniu takich obszarów jako powierzchni pozbawionej roślinności sprzyja jałowość piaszczystego podłoża oraz antropogeniczne oddziaływanie utrudniające wkraczanie roślin na te tereny.

4.3.5. Cyple piaszczyste (kosy)

Cyple piaszczyste to formy brzegowe w kształcie wąskich półwyspów przystających w konsekwencji dostawy materiału transportowanego wzdłuż brzegu (fot. 12). Ciągłość procesu akumulacyjnego może doprowadzić do przekształcenia cypla piaszczystego (kosy) w mierzeję odcinającą od zbiornika zalew — dawną zatokę jeziora (Klimaszewski, 1978; Flis, 1982). Wcześniejsze badania jezior (np.: Drwał, Gołębiewski, 1968; Korolec, 1968) dowodzą, że cyple powstają w miejscach załamania linii brzegowej, a przyrost ich powierzchni, utożsamiany ze zwiększeniem kubatury, następuje przede wszystkim na wypukłościach lądu od strony zawietrznej.

Zdecydowana większość cypli na wybrzeżach badanych zbiorników wodnych jest obserwowana na brzegach sektorów wschodnich, rzadziej południowych i północnych, a więc w strefach oddziaływania wiatrów zachodnich jako dominujących na badanym obszarze. Sama ich lokalizacja pozwala przypuszczać, że swe powstanie zawdzięczają falowaniu i prądom przybrzeżnym, wywołanym przez te wiatry. Cyple piaszczyste, będące trwałym elementem rzeźby brzegu, występują na wybrzeżach zbiornika Dzierżno Duże, Pogoria III, Kozłowa Góra i Przeczyce,



Fot. 12. Organiczny wał brzegowy na pierwszym planie i cypel piaszczysty w oddali na wybrzeżu zbiornika Dzierżno Duże (fot. M.A. Rzętała)

Photo 12. Organic berm in the foreground and a sandy tip in the distance on the shore of the Dzierżno Duże water body (photo by M.A. Rzętała)

przy wyraźnym zróżnicowaniu ich liczebności. Niezależnie od zbiornika, na którym występują, ich powierzchni i kubatury, cyple piaszczyste osadzone są w misie zbiornikowej na skłonie, który schodzi od brzegu w toń zbiornika. Nasada cypli z brzegiem jest połączona szeroką podstawą. Cyple piaszczyste wnikają w zbiornik łukiem lub wydłużonym językiem. W miarę zważania się cypla, rośnie miąższość budujących je piasków. Przebieg ich kształtowania nie różni się zasadniczo od sposobu kształtowania analogicznych form na wybrzeżach zbiorników naturalnych (Korolec, 1968). Omawiane cyple są nadbudowywane z różną intensywnością, uwarunkowaną poziomem piętrzenia wody, od czego zależy ilość dostarczanego materiału piaszczystego. Na wybrzeżach omawianych zbiorników powstaje również wiele cypli piaszczystych, niewielkich powierzchniowo, które szybko — częściowo lub w całości — są degradowane, a więc mają charakter wybitnie efemeryczny.

W obrębie plaż powstają również tzw. szpyrki, czyli piaszczyste przylądki utworzone w miejscu, gdzie spotykają się dwa przeciwne prądy przybrzeżne (Flis, 1982). Takie cyple piaszczyste powstają zwykle w skali mikro na wybrzeżach tylko niektórych badanych zbiorników wodnych. Są to formy nietrwałe, ponieważ akwenny, w obrębie których one występują są zbyt małe, aby wykształciły się przeciwne prądy przybrzeżne, warunkujące ich utworzenie.

4.3.6. Mierzeje

Mierzeje to wynurzone długie wały, odcinające wody zatoki jeziora (w odróżnieniu od cypli, czyli kos, które do lądu przylegają tylko jednym końcem), utworzone przez akumulację materiału transportowanego przez prądy przybrzeżne i akumulowanego na brzegu oraz przewiewanego przez wiatr (Flis, 1982). Mierzeje bardzo często tworzą się na przedłużeniu półwyspów. W przypadku omawianych zbiorników wodnych zidentyfikowano wiele tego typu form, przy czym większość z nich ma charakter mikroskalowy. Są to najczęściej mierzeje niewielkich rozmiarów (o długości kilku metrów), powstające w sprzyjających warunkach wietrznych, a degradowane w okresach większego falowania (bądź zmiany stanu wody w zbiorniku). Zdecydowanie mniej stwierdzono mierzei zaliczanych do trwałych elementów rzeźby wybrzeży zbiorników wodnych, tzn. nieulegających degradacji w okresach silnego falowania czy okresowego zalewu w wyniku podpiętrzenia wody. Zdecydowanie korzystniejsze warunki do utworzenia mierzei mają zbiorniki o bardzo urozmaiconej linii brzegowej, ponieważ duża liczba zatok sprzyja powstawaniu tych form, przy jednoczesnym występowaniu wzdłużbrzegowego ruchu wody, transportującego rumowisko. Warunki te spełniane są najczęściej przez zbiorniki poeksploatacyjne o sztucznie ukształtowanych wybrzeżach dawnego wyrobiska. Nawet, gdy jego ściany są stosunkowo proste, to w wyniku likwidacji stromych stoków podcinanych przez wodę uaktywniają się ruchy masowe, które prowadzą do lokalnego urozmaicenia linii brzegowej. Zbiorniki zaporowe charakteryzuje dużo mniejsza liczba mierzei, m.in. ze względu na łagodniejsze spadki zatopionych zboczy dolin rzecznych, a także mniejszą zasobność w potencjalny materiał budujący omawianą grupę form.

Najwięcej mierzei występuje na brzegach zbiornika Dzierżno Duże (fot. 13). Są to obiekty najczęściej o charakterze efemeryd, a tylko dwie spełniają wspomniane kryterium trwałego elementu rzeźby strefy litoralnej. Te dwie formy są jedynymi mierzejami, zapisującymi się na trwałe w rzeźbie wybrzeża. Na północno-wschodnim wybrzeżu zbiornika utworzona została mierzeja na bazie cypla będącego pozostałością po eksploatacji piasku. Krawędzie wyrobiska tworzyły tam pierwotne załamanie linii brzegowej pod kątem 90°, stwarzając dogodne warunki do akumulacji materiału piaszczystego transportowanego przez prądy przybrzeżne w warunkach występowania wiatrów z sektora zachodniego. W czasie wysokiego poziomu piętrzenia wód limnicznych mierzeja jest w przeważającej części zatapiana. Druga mierzeja znajduje się w połowie długości południowego wybrzeża i powstała przez nadbudowę cypla poeksploatacyjnego, gdzie krawędzie wyrobiska tworzyły załamania linii brzegowej, stanowiące przeszkodę wygaszającą siłę nośną prądów przybrzeżnych, co z kolei prowadziło do akumulacji w tym miejscu transportowanego materiału. Z wcześniejszych badań wynika (Rzetała, 2003), że długość mierzei wynosi 60 m, a szerokość waha się od 30 m w części zachodniej do 10 m w części wschodniej. Oś formy biegnie w kierunku wschodnim. Wysokość bezwzględna powierzchni topograficz-



Fot. 13. Mierzeja na północnym wybrzeżu (po lewej) oraz odsłonięcie osadów limnicznych mierzei i jej podłoża na południowym wybrzeżu (po prawej) zbiornika Dzierżno Duże (fot. M.A. Rzętała)
Photo 13. Spit on the northern shore (left) and uncovered limnic sediments of the spit and its substrate on the southern shore (right) of the Dzierżno Duże water body (photo by M.A. Rzętała)

nej mierzei wynosi 201,5 m n.p.m. w części zachodniej i 197,0—198,0 m n.p.m. w części wschodniej. Powierzchnia badanej formy — odcinającej od zbiornika obniżenie (zalew) o powierzchni około 200 m² — wynosi około 1200 m². Z kolei kubaturę mierzei szacuje się na 850 m³. Mierzeja zbudowana jest z wielu warstw piasków o nachyleniach w kierunku zbiornika lub zalewu, co świadczy o często zmieniającym się położeniu osi głównej tej formy. Piaski w większości są laminowane i zawierają wkładki substancji organicznej, co dowodzi fazowości procesu akumulacyjnego. Średnia średnica ziaren (Mz) materiału piaszczystego, który buduje mierzeję waha się w granicach od 0,2 mm do 0,4 mm. Materiał budujący mierzeję cechuje się dobrym wysortowaniem (0,4—0,8), świadczącym o limnicznym charakterze tych osadów. Podłoże mierzei (powierzchnia dawnego cypla poeksploatacyjnego) znajduje się średnio 60—70 cm poniżej sterasowanej powierzchni tej formy. Najgłębiej zalega w jej centralnej części (1,5 m), natomiast na krańcach formy głębokość zalegania podłoża zmniejsza się do kilkunastu centymetrów. W podłożu mierzei (strop cypla) zalegają utwory piaszczyste z domieszką frakcji drobniejszych (średnia średnica ziaren 0,12—0,25 mm) o słabszym wysortowaniu (0,8—1,1) w porównaniu z nadległym materiałem limnicznym, budującym mierzeję (Rzętała, 1998).

4.3.7. Wały brzegowe

Wały brzegowe to formy powszechnie spotykane na skraju zbiorników wodnych. Powstają w obrębie płaskich odcinków wybrzeży. Zostają utworzone z materiału organicznego i mineralnego, wyrzucanego na niski brzeg przez fale przyboju (fot. 12). Wały brzegowe mogą powstawać w wyniku uformowania materiału brzegowego (np. darniowe wały brzegowe) lub jego przemieszczenia (np. egzarycyjne wały brzegowe). Warunki powstawania wałów brzegowych wiążą się z prostopadłą ekspozycją brzegu do kierunku natarcia fal lub pokrywy lodowej oraz obecnością materiału budującego. Wały brzegowe tworzą się w obrębie badanych zbiorników wodnych niezależnie od wysokości piętrzenia wody, po zatopieniu ulegają degradacji w wyniku oddziaływania falowania, a przy obniżeniu zwierciadła — zwykle są degradowane w wyniku osuszenia i erozji wietrznej, denudacyjnej działalności wód opadowych oraz spływających powierzchniowo. A. Jaguś (2000) zaznacza, że często dochodzi do sytuacji, w której od strony lądowej powstaje zagłębienie, gdzie może utrzymywać się woda, przelewana przez grzbiet wału po rozbiciu wysokich fal. Na brzegach badanych zbiorników wodnych występują zasadniczo dwa rodzaje wałów brzegowych — mineralne i organiczne, aczkolwiek spotykane są typy wałów o cechach pośrednich.

Najczęściej występującymi tego typu formami są wały piaszczyste o przebiegu równoległym do linii brzegowej. Największą ich liczebność — każdorazowo o charakterze efemeryd — stwierdzono na brzegach zbiorników poeksploatacyjnych. Ich wysokość zwykle nie przekracza 20 cm, szerokość wynosi najczęściej do 0,5 m, a długość waha się od kilku do maksymalnie kilkudziesięciu metrów. Zbudowane są głównie z piasków średnioziarnistych, dobrze wysortowanych, lecz zdeponowanych bez wyraźnych struktur kierunkowych. Są to formy akumulacyjne, podlegające częstemu modelowaniu. Można je spotykać na całej szerokości plaż jako formy niezależne bądź wchodzące w skład form większych, np. mierzei. W tworzeniu omawianych form na wybrzeżach wszystkich zbiorników udział bierze materiał piaszczysty o podobnym uziarnieniu. Materiał znajdujący się po stronie stoków proksymalnych charakteryzuje się nieznacznie większą średnią średnicą ziaren ($M_z = 0,44$ mm) niż materiał po stronie dystalnej ($M_z = 0,37$ mm). Mineralne wały brzegowe cechuje duża dynamika zmian, przejawiająca się na przemian częstym tworzeniem i degradacją opisywanych form (Rzętała, 2003).

Innym typem wału brzegowego jest nagromadzenie materiału organicznego wzdłuż linii brzegowej (fot. 12). Organiczne wały brzegowe, w obrębie badanych zbiorników wodnych, mają najczęściej charakter efemeryd i występują zwłaszcza w sąsiedztwie:

- powierzchni porośniętych przez bujną roślinność będącą źródłem dostawy materiału sedentacyjnego,
- miejsc akumulacji, tzw. sieczki roślinnej, która ukorzenia się w warunkach obniżenia zwierciadła wody dając początek pasom roślinności porastającej wybrzeże,

- miejsc zalegania torfów lub materiału podłoża i obrzeża misy, zawierającego duże ilości części organicznych,
- miejsc alimentacji silnie zanieczyszczonymi wodami rzecznyymi,
- miejsc akumulacji materii organicznej z obumarłej roślinności jednorocznej, np. fitoplanktonu.

Organiczne wały brzegowe osiągają wysokość 20 cm, szerokość 40 cm, a długość dochodzącą nawet do kilkudziesięciu metrów. Z zagadnieniem depozycji materii organicznej m.in. na brzegach wiąże się proces eutrofizacji wód retencjonowanych w zbiornikach wodnych (Jankowski, Rzętała, 1998; Kozyreva i in., 2000). Pochodną zwiększonych ilości substancji biogennej w wodach są jej tzw. zakwity, wynikające z rozwoju fitoplanktonu (np. Kajak, 1979, 1995; Bucka, 1993). Na wybrzeżach niektórych zbiorników wodnych (np. Dzierżno Duże, Świerklaniec, Przechyże) spotyka się wały zbudowane przede wszystkim z obumarłego fitoplanktonu, osiągające rozmiary maksymalnie kilku centymetrów szerokości, do 5 cm wysokości i nawet kilkuset metrów długości. Wprawdzie nie stanowią one trwałego zapisu w morfologii wybrzeża, ale ich obecność ma znaczący wpływ na walory estetyczne otoczenia zbiornika, stając się w pewnym sensie źródłem budulca dla przyszłorocznych zbiorowisk roślin jednorocznych w zasięgu litoralu, gdzie bardzo często spotkać można rośliny ruderalne (Rzętała, 2003).

Z wcześniej realizowanych badań wynika (Korołec, 1968; Gierszewski, 1995; Rzętała, 1994, 1998; Jaguś, Rzętała, 2003; Rzętała 2003; Ruman, Rzętała, 2005), że odrębnym typem wałów brzegowych są formy powstałe w wyniku spiętrzenia i przesunięcia materiału przez pokrywę lodową. Od jej powierzchni, kształtu, grubości i intensywności naporu na brzeg zależą morfometria i kształt utworzonych form, najczęściej wiązanych z procesami egzaracyjnymi (Banach, 1993a, 1994) lub równie często abrazją lodową, które dodatkowo są warunkowane charakterem degradowanej powierzchni. W obrębie badanych zbiorników wodnych są to formy o charakterze efemerycznym — jako pojedyncze rzadko na trwałe zapisują się w morfologii brzegów, ale wielokrotny cykl ich pełnego rozwoju może takowy zapis w rzeźbie i osadach pozostawić. Wały brzegowe utworzone w rezultacie procesów egzaracyjnych są wałami mineralnymi, organicznymi lub mają cechy form mineralno-organicznych. Procesy egzaracyjne mogą prowadzić do istotnych zmian w morfologii wybrzeży nawet w strefach poza zasięgiem falowania występującego w innych porach roku. Przykładami morfotwórczej działalności pokrywy lodowej na brzegach badanych zbiorników wodnych są (fot. 14):

- bezładne przemieszczenia materiału piaszczystego, spowodowane naporem niewielkiej grubości, kruchej, ale rozległej tafli lodowej, dające w efekcie wały piaszczyste na wybrzeżach zbiornika Dzierżno Duże,
- połączone z destabilizacją obwałowań wydzwignięcia na wysokość ponad 1,5 m w stosunku do pierwotnego położenia przemarznętego materiału brzegowego, zalegające w sąsiedztwie okładów zapory czołowej i zapory bocznej zbiornika Świerklaniec,
- spowodowane naporem stopionej jedynie przy brzegach i miększej na kilka centymetrów kry lodowej, przemieszczanie przemarznętej brzegowej pokrywy



Fot. 14. Wały brzegowe różnego typu i genezy (fot. M.A. Rzętała)
Photo 14. Berms of different types and origins (photo by M.A. Rzętała)

- piaszczystej w formie płyty (długość — około 200 m; szerokość — około 2 m, a w jednostkowych przypadkach nawet 10 m; grubość — średnio 15 cm), na południu zbiornika Pogoria III,
- wypiętrzenia darniowych wałów brzeżnych o wysokości do 0,5 m w wyniku wielokrotnego naporu kry lodowej na wybrzeże zbiornika Pogoria III.

Po roztopach materiał piaszczysty pochodzący z abrazyj jest zdeponowany w formie wałów piaszczystych, które w większości przypadków ulegają szybkiemu rozmyciu lub pozostają w postaci przesuniętych i oderwanych od podłoża darniowych płatów, jeśli tym materiałem była darń. Generalnie deformacje brzegów omawianych zbiorników w wyniku oddziaływania pokrywy lodowej dotyczą głównie wąskiego pasa wzdłuż linii brzegowej, chociaż w przypadku zmian poziomów piętrzenia intensyfikacja procesów egzaracyjnych zachodzi na ciągle nowych horyzontach.

4.3.8. Pozostałe rodzaje form brzegowych

Działalność abrazyjna fal, zwłaszcza na brzegach zadarnionych, przejawia się tworzeniem zerw darniowych o różnym stopniu wykształcenia. Ich rozmiary są zależne od rozwoju systemów korzeniowych i rodzaju litologii wybrzeża, ale najczęściej stanowią je pakiety o kilkudziesięciocentymetrowej długości i szerokości kilkunastu centymetrów. Formy takie były obserwowane na wybrzeżach wszystkich badanych zbiorników wodnych. Z wcześniej realizowanych badań wynika (Rzętała, 2003), że w specyficznych warunkach falowania i spoistości materiału podłoża, zamiast zerw darniowych powstawać mogą darniowe wały brzegowe.

W strefach brzegowych omawianych zbiorników wodnych często spotykane są odcinki wybrzeży charakteryzujące się przewagą abrazyj nad akumulacją, jednak nie prowadzące do wykształcenia wyraźnych form. Ich przykładem może być rumosz skalny zalegający w strefie wahań stanów wody, z którego wypłukana została drobna frakcja osadów. Dawne plaże na skutek erozji zostały pozbawione materiału piaszczystego, pylastego i ilastego, przy wyraźnej dominacji materiału o frakcjach żwirowej i kamienistej (Rzętała, 1998). Skład petrograficzny rumoszu skalnego jest determinowany (w przewadze) genezą materiału podłoża misy.

Skutkiem procesów korozyjnych są nieodwracalne i niepożądane zmiany w betonowych elementach zabudowy hydrotechnicznej, objawiające się chociażby ich przebarwieniami, a w dalszej konsekwencji uszkodzeniami wymagającymi częstych remontów. Procesy te są także istotnym elementem inicjującym zmiany o charakterze mechanicznym. Chociaż tempo i zakres agresywnego oddziaływania wód na elementy betonowe wybrzeży nie stanowią dużego problemu eksploatacyjnego, a szeroko rozumiane uszkodzenia należy wiązać przede wszystkim z procesami wietrzenia mechanicznego, to występuje problem agresywności węglanowej wody w badanych zbiornikach wodnych. Lokują się one najczęściej w przedziale tzw.



Fot. 15. Antropogeniczna zabudowa brzegów zbiornika Koparki w Jaworznie (fot. M.A. Rzętała).

Photo 15. Human-made structures on the shores of the Koparki water body in Jaworzno (photo by M. A. Rzętała).

korozji możliwej, czyli strefie przejściowej między strefami niekorozyjną a dużej korozji (Rzętała, 2003).

Typowo antropogeniczny charakter mają umocnienia brzegów, często spotykane nad zbiornikami regionu górnośląsko-załębiowskiego (fot. 15). Są to umocnienia faszynowe, narzut bruku kamiennego, materace siatkowo-kamienne, płyty betonowe itp. Ich instalację uzasadniają względy użytkowe przestrzeni przyzbiornikowej lub mają one charakter przeciwbrazynny.

5. Geomorfologiczne problemy funkcjonowania mis antropogenicznych zbiorników wodnych — omówienie wyników badań

5.1. Przejawy samooczyszczania wód w procesie tworzenia form deltowych

W sytuacji oddziaływania różnych form antropopresji na wody powierzchniowe, niezwykle istotna jest ich zdolność do samooczyszczania. Zbiorniki wodne spełniają zatem zadania osadników wstępnych, które są ogniwami oczyszczania wody w klasycznych oczyszczalniach mechanicznych. W przeciwieństwie do szeroko omawianych oczyszczających funkcji pełnionych przez jeziora antropogeniczne w stosunku do wód powierzchniowych płynących (Dojlido, 1995; Rzętała, 2008), rola sedymentacji rumowiska w oczyszczaniu tych wód jest praktycznie pomijana i tylko czasami podkreślana (Kostecki, 2000, 2003). Oczyszczanie wód płynących w wyniku procesów sedymentacyjnych wydaje się mieć bardzo duże znaczenie zwłaszcza w zlewniach o charakterze miejsko-przemysłowym, tym bardziej w sytuacji niedostatku oczyszczalni ścieków.

Samooczyszczanie zachodzi zarówno w środowisku wód płynących, jak i w wodach stojących. Procesy oczyszczające w wodach płynących są w większości związane z chemicznym i biochemicznym utlenianiem, natomiast samooczyszczanie wód stojących polega głównie na sedymentacji cząstek stałych (także tych chemicznie wytrąconych z roztworu). Innym procesem o znaczeniu oczyszczającym, charakterystycznym dla obu środowisk, jest asymilacja zanieczyszczeń przez organizmy żywe.

Duże znaczenie dla samooczyszczania wód mają strefy dopływu cieków do zbiorników wodnych, czyli strefy kontaktu wód rzecznych i jeziornych (Rzętała i in., 2013; Rzętała i in., 2013). Następuje tam zmiana środowiska energetycznego wód płynących i wskutek sedymentacji rumowiska powstają delty lub stożki napływowe oraz nagromadzenia osadów dennych (Rzętała i in., 2009). Dużą rolę odgrywają również procesy sedymentacji materii organicznej, szczególnie morfotwór-

cze na powierzchniach okresowo osuszanych. Tym samym, strefa tworzenia form deltowych pełni rolę podobną do osadnika wstępnego w technologii oczyszczania ścieków. Wiedzę w tym zakresie wykorzystuje się między innymi podczas konstruowania tzw. zbiorników wstępnych, przechwytyjących napływający rzeką materiał przed jej dopływem do zbiornika głównego, co ma zapobiegać głównie jego wypełnieniu osadami (Czamara, Grześków, 2007). Wykładnikiem skuteczności oczyszczania w zakresie depozycji rumowiska jest przykład najbardziej okazałej w regionie górnośląsko-zagłębiowskim strefy akumulacji we wschodnim sektorze zbiornika Dzierżno Duże.

Z wyników realizowanych badań nad osadami akumulowanymi przez Kłodnicę wynika, że jest to materiał charakteryzujący się zanieczyszczeniem, m.in. metalami ciężkimi (Rzętała, 2003) i wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi (Kostecki, 2003) oraz występowaniem siarkowodoru oraz metanu (Rzętała, 2000), a w składzie podstawowym niewielkiej zawartości SiO_2 odpowiadają straty prażenia przekraczające nawet 50% masy badanych prób (Rzętała i in., 2009). Średnio SiO_2 występuje w ilości 25,4%, a materia organiczna, wyrażona przez wielkość strat prażenia, wynosi aż 48,7%. Obok materiału organicznego i krzemionki, jako podstawowego budulca, w osadach dennych oznaczono również, jako podstawowe minerały lub ich komponenty: Al_2O_3 (9,05%), Fe_2O_3 (6,20%), MnO (0,06%), MgO (1,55%), a także związki wapnia (CaO — 2,54%), sodu (Na_2O — 0,36%), potasu (K_2O — 1,21%), tytanu (TiO_2 — 0,40%), fosforu (P_2O_5 — 0,71%) i siarki (S — 1,9%). Ich udział także zależy od litologii zlewni oraz charakteru wpływów antropogenicznych. Równie zróżnicowane jest zanieczyszczenie osadów deltowych pierwiastkami śladowymi. Zawartość poszczególnych pierwiastków wyraża średnia arytmetyczna z wyników oznaczeń wszystkich próbek osadów deltowych (allochtonicznych), która wynosi dla: Ba — 1673,1 mg/kg, As — 19,3 mg/kg, Be — 2,0 mg/kg, Cu — 104,5 mg/kg, Pb — 122,6 mg/kg, Zn — 723,0 mg/kg, Ni — 48,1 mg/kg, Cd — 7,3 mg/kg, Co — 0,6 mg/kg, Cr — 103,0 mg/kg, Cs — 8,2 mg/kg, Mo — 3,7 mg/kg, Sb — 5,0 mg/kg, La — 24,2 mg/kg, Ce — 45,6 mg/kg, Nd — 18,2 mg/kg, Sm — 4,3 mg/kg, Eu — 1,0 mg/kg, Sc — 9,8 mg/kg, U — 4,2 mg/kg, Th — 10,5 mg/kg. Poziom zanieczyszczenia osadów deltowych mikropierwiastkami najczęściej wielokrotnie przekracza — określone przez J. Lis i A. Pasieczną (1995b) — regionalne tło geochemiczne. Otoczenie misy zbiornika charakteryzuje występowanie osadów autochtonicznych o następującym składzie podstawowym: SiO_2 — 78,12%, Al_2O_3 — 6,89%, Fe_2O_3 — 2,66%, MnO — 0,03%, MgO — 0,45%, CaO — 0,66%, Na_2O — 0,87%, K_2O — 1,77%, TiO_2 — 0,74%, P_2O_5 — 0,10%, S — 0,4%. Zatem osady zalegające w sąsiedztwie misy zbiornika są pozbawione tak silnego zanieczyszczenia: Ba — 591,0 mg/kg, As — 26,0 mg/kg, Be — <1,0 mg/kg, Cu — 22,0 mg/kg, Pb — 50,0 mg/kg, Zn — 176,0 mg/kg, Ni — 19,0 mg/kg, Cd — 1,5 mg/kg, Co — 6,0 mg/kg, Cr — 96,0 mg/kg, Cs — 2,9 mg/kg, Mo — 5,0 mg/kg, Sb — 1,7 mg/kg, La — 40,6 mg/kg, Ce — 74,0 mg/kg, Nd — 31,0 mg/kg, Sm — 6,3 mg/kg, Eu — 1,2 mg/kg, Sc — 6,2 mg/kg, U — 6,3 mg/kg, Th — 18,2 mg/kg. Porównanie składu osadów autochtonicznych

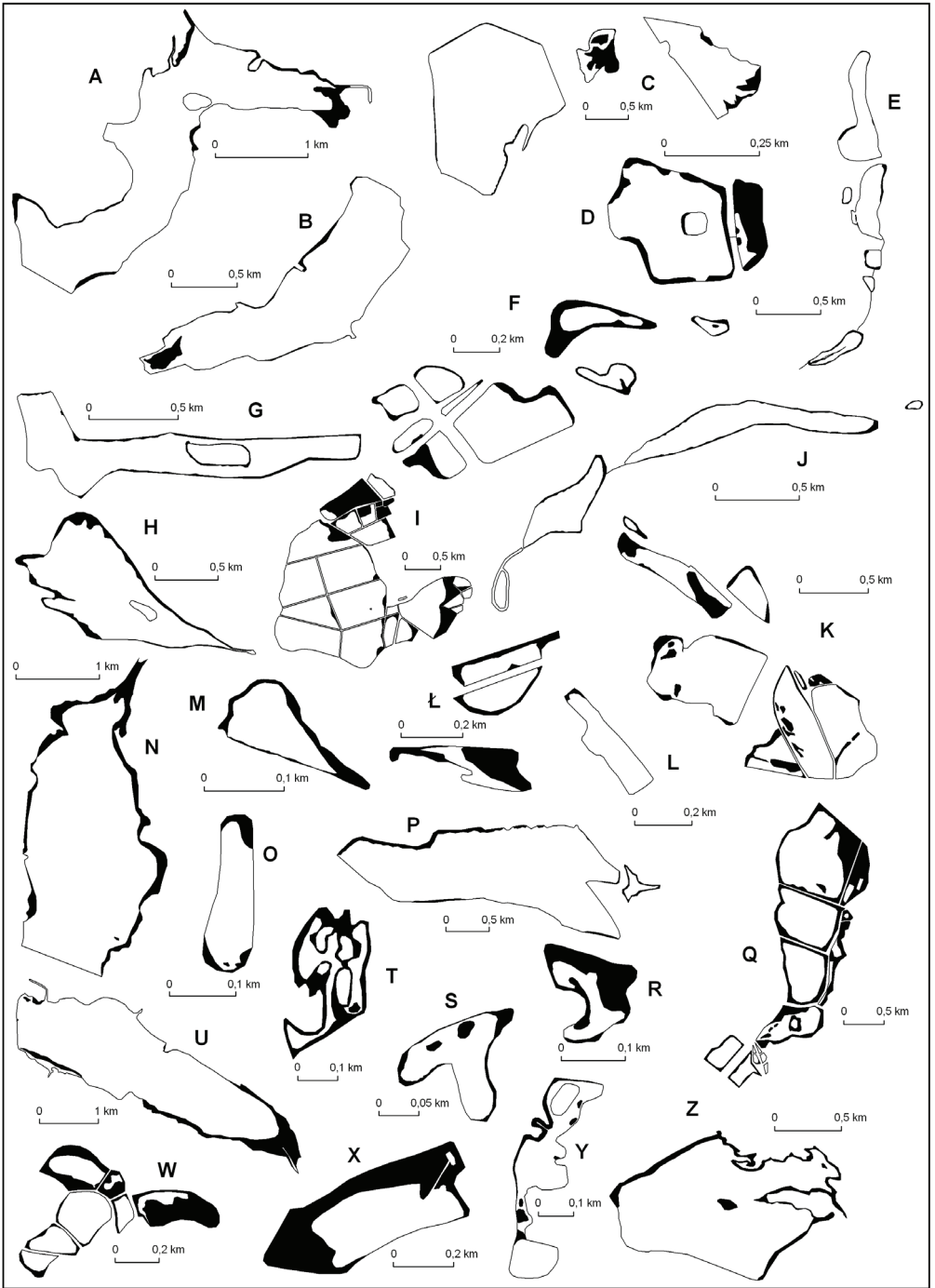
otoczenia misy i allochtonicznych utożsamianych z osadami deltowymi ujawnia kumulacyjną rolę strefy kontaktu wód rzecznych i zbiornikowych w stosunku do dostarczanego ze zlewni zanieczyszczonego rumowiska.

Depozycja materiałów mineralnego i organicznego jest jednocześnie procesem unieruchamiającym (przynajmniej okresowo), przede wszystkim w obrębie delt, substancje pokarmowe (zwłaszcza związki fosforu) oraz pierwiastki śladowe, w tym metale ciężkie i toksyczne. Roślinność porastająca formy deltowe, pełniąc rolę biofiltra, przyczynia się do utylizacji związków biogenych i mikrozanieczyszczeń w procesie asymilacji biologicznej. Dla poprawy jakości wód uchodzących do zbiorników szczególnie istotne jest akumulowanie w osadach deltowych związków fosforu i azotu. Są one bowiem odpowiedzialne za rozwój procesów eutrofizacyjnych. W środowisku wodnym większość przemian fosforu prowadzi do wytrącania jego związków (np. w połączeniach z wapniem, żelazem, glinem) i ich sedymentacji. Dodatkowo, zachodzi sorbowanie fosforanów przez koloidalną frakcję różnorodnych minerałów. Formy deltowe, wespół z pokrywami osadów dennych, można zatem traktować jako środowisko przynajmniej okresowego unieruchomienia fosforu. Badania prowadzone przez A. Jagusia i M. Rzętałę (2012) wykazały, że przepływ wód cieków przez zbiorniki wodne, bez względu na charakter antropogenicznych oddziaływań zlewniowych, skutkuje zmniejszeniem ładunku fosforu w relacji dopływ—odpływ. Formy deltowe stanowią ekosystemy korzystnie oddziałujące na jakość zasobów wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego, tworząc w wielu przypadkach siedliska o charakterze wodno-błotnym.

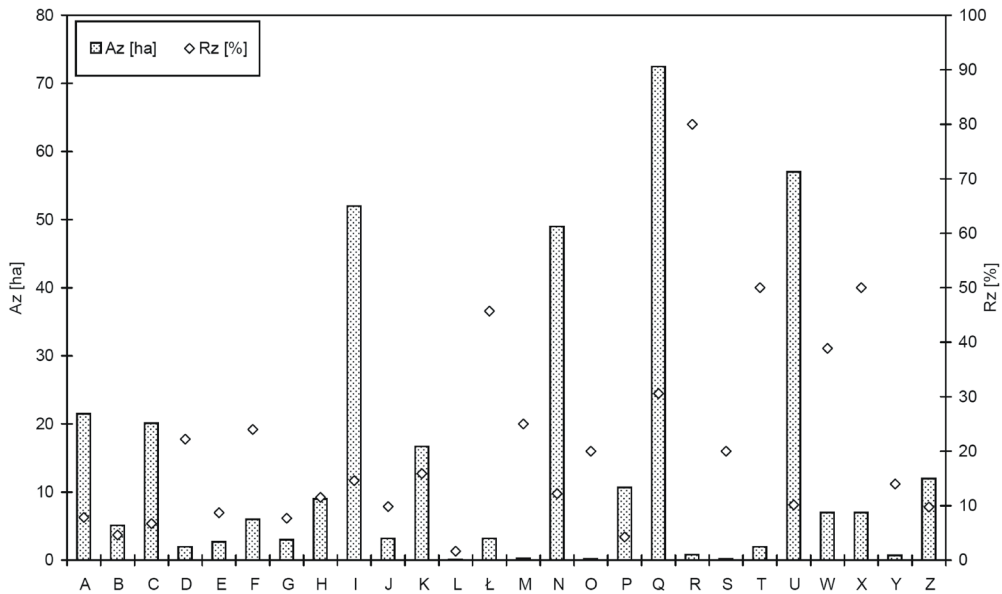
5.2. Rola sedentacji w kształtowaniu rzeźby mis zbiornikowych

W akwenach położonych na obszarach antropogenicznie przeobrażonych występuje zwykle zanieczyszczenie substancjami biogenicznymi. Obecność substancji pożywkowych w wodzie i osadach sprzyja kolonizacji brzegów przez roślinność, a ta skutkuje rozwojem sedentacji, którą K. Tobolski (1995) definiuje jako proces akumulacji materii tworzącej pokłady osadów z biomasy roślinnej, wyrastającej z osadu. W przypadku zbiorników antropogenicznych sedentacja jest marginalizowana przy rozpatrywaniu przemian morfologicznych, jakim podlegają misy akwenów. Nieco więcej uwagi poświęca się roślinności porastającej nadwodnie i zatopione fragmenty brzegu. Okazuje się jednak, że roślinność może odgrywać bardzo dużą rolę w zamulaniu mis zbiornikowych i być dominującym źródłem dostawy materii. Dowodzą tego badania przeprowadzone w kompleksie 39 akwenów, zgrupowanych w 26 miejscach regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (rys. 41). Badaniami objęto akweny o zróżnicowanej powierzchni, tj. od 1 ha do 561 ha (średnia arytmetyczna — 115 ha, mediana — 0,32 ha).

Stwierdzono, że zarastanie dotyczy (w zależności od akwenu) od 1,7% do 80% pierwotnej powierzchni wodnej, przy średniej 21% i nieco niższej medianie 14,3%



(rys. 42). Zbiornikom większym powierzchniowo towarzyszą większe bezwzględne powierzchnie objęte zarastaniem (współczynnik korelacji powierzchni zbiorników i powierzchni objętych zarastaniem wynosi 0,84 i wskazuje na wprost proporcjonalną zależność). Daje się zauważyć zależność odwrotnej proporcjonalności między powierzchnią zbiornika a odsetkiem powierzchni objętej zarastaniem (przy współczynniku korelacji wynoszącym 0,37). Jednak największy odsetek powierzchni objętej zarastaniem roślinnością dotyczy zwykle zbiorników niewielkich i raczej płytkich, np. zbiornika w Sławkowie (80%), zbiorników Ostroźnica i Hubertus (po 50%), zbiorników w Zabrze Makoszowach (45,7%). W przypadku ostatniego z wymienionych, czynnikiem sprzyjającym zarastaniu, oprócz niewielkiej głębokości



Rys. 42. Powierzchnia zarastania (A_z) i wartości współczynnika zarastania (R_z) zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (numeracja zbiorników wodnych jak na rys. 41).

Fig. 42. Overgrown area (A_z) and the overgrowth ratio (R_z) of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (water body numbering as in Fig. 41).

Rys. 41. Występowanie roślinności w obrębie zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (kolorem czarnym zaznaczono obszary zajęte przez roślinność):

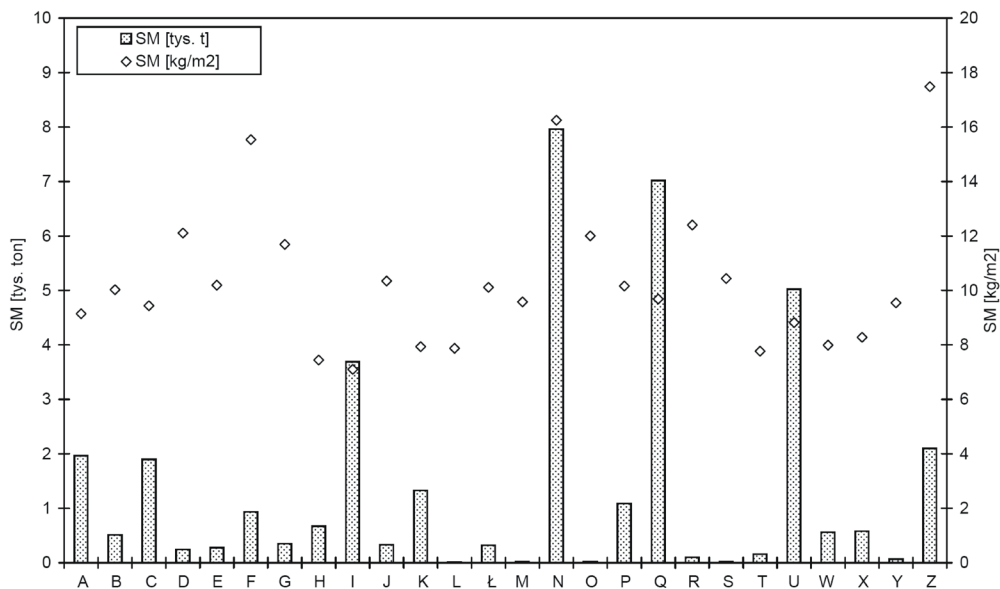
A – Przeczyce, B – Paprocany, C – Pogoria, D – Balaton, E – w zlewni Potoku Leśnego, F – Żabie Doły, G – Sosina, H – Chechło, I – Wielikąt, J – w zlewni Jaworzniaka (zbiorniki Rogoźnik), K – na pograniczu Katowic i Sosnowca, L – Koparki, Ł – w Zabrze – Makoszowach, M – Czeladź Norwida, N – Kozłowa Góra, O – Przetok, P – Pławniowice i Mały Zalew, Q – Łęczczok, R – Sławków, S – Brzeziny, T – Ostroźnica, U – Dzierżno Duże, W – Kradziejówka, X – Hubertus II, Y – Kazimierz, Z – Dzierżno Małe.

Fig. 41. Presence of vegetation in the vicinity of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (areas occupied by vegetation marked in black):

A – Przeczyce, B – Paprocany, C – Pogoria, D – Balaton, E – within the Potok Leśny Stream catchment, F – Żabie Doły, G – Sosina, H – Chechło, I – Wielikąt, J – within the Jaworzniak Stream catchment (Rogoźnik water bodies), K – at the boundary of Katowice and Sosnowiec, L – Koparki, Ł – in Zabrze Makoszoway, M – Czeladź Norwida, N – Kozłowa Góra, O – Przetok, P – Pławniowice and Mały Zalew, Q – Łęczczok, R – Sławków, S – Brzeziny, T – Ostroźnica, U – Dzierżno Duże, W – Kradziejówka, X – Hubertus II, Y – Kazimierz, Z – Dzierżno Małe.

i powierzchni, jest modelowanie ukształtowania terenu przez procesy osiadania. Mogą one doprowadzić do obniżenia terenu, zmiany warunków wilgotnościowych i spontanicznej sukcesji roślinności postępującej od strony zbiornika.

Udział powierzchni zarastającej akweny w ich ogólnej powierzchni przekłada się na wytworzenie biomasy roślinności makrofitowej, która bierze udział w sedentacji, skutkującej przyrostem osadów dennych (rys. 43). Ilość ta jest zmienna w ciągu roku,



Rys. 43. Potencjalny udział sedentacji wyrażony wielkością suchej masy (SM) roślinności makrofitowej występującej w obrębie zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (numeracja zbiorników wodnych jak na rys. 41).

Fig. 43. Potential share of sedimentation expressed as the amount of dry mass (SM) of macrophyte vegetation present in the vicinity of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (water body numbering as in Fig. 41).

co wynika z różnego rozwoju roślinności w trakcie sezonu wegetacyjnego. Badania przeprowadzone w pełni sezonu wegetacyjnego ujawniły występowanie w obrębie akwenów od 7,1 do 17,5 kg/m² suchej masy roślin, przy średniej 10,4 kg/m² i nieco niższej medianie (9,9 kg/m²). W przeliczeniu na całkowitą powierzchnię zbiorników wodnych zajęta przez roślinność są to ilości od 8 ton (zbiornik Koparki) do blisko 8 tys. ton (zbiornik Kozłowa Góra). Wartości te świadczą o potencjalnie dużych możliwościach sedentacyjnego wzbogacania osadów dennych w materiał budulcowy. Jeśli przywołać wcześniejsze ustalenia dotyczące zasilania zbiorników wodnych materiałem mineralnym, którego wielkość określono dla zbiornika Kozłowa Góra przeciętnie na 247,2 ton rocznie, to ilość 8 tys. ton materii organicznej tworzonej przez roślinność występującą w zbiorniku wodnym w pełni sezonu wegetacyjnego i w przeliczeniu na suchą masę stanowi 32-krotność tej pierwszej wielkości. Blisko 295 ton materiału mineralnego rocznie dostarczanego do zbior-

nika Przeczyce (przewaga masy materii organicznej prawie 7-krotna), kontrastuje z blisko 2 tys. ton suchej masy roślinności występującej w tym zbiorniku. Do zbiornika Dzierżno Duże obok 25,8 tys. ton rumowiska rocznie jest dostarczane około 5 tys. ton suchej masy roślin. Podane duże wartości potencjalnego udziału sedimentacji w dostawie materiału budulcowego osadów dennych badanych zbiorników radykalnie zmienia pogląd na temat wypełniania tych zbiorników wodnych przez materiał roślinny. Przytoczone przykłady wskazują na to, że udział roślinności w załadowaniu zbiorników wodnych nie był dotychczas doceniany. Podobne spostrzeżenia wynikają z badań nad wypływaniem jezior, prowadzonych przez A. Ławniczak i in. (2011), którzy wskazują, że tempo zamulania zbiorników może być dużo szybsze od prognozowanego.

Pośród wielu roślin występujących w obrębie badanych zbiorników wodnych do oceny jakości materiału sedimentacyjnego wybrany został gatunek trzciny pospolitej (*Phragmites australis*), który zalicza się do najbardziej rozpowszechnionych na świecie (Hocking i in., 1983; Graneli, 1984). Jak wynika z wcześniej przeprowadzonych badań (Rzętała i in., 2011), *Phragmites australis* w obrębie badanych zbiorników wodnych tworzy przede wszystkim agregację jednogatunkowe zespołu *Phragmitetum australis*. Jako gatunek o wysokiej żywotności (wysokość dochodzi miejscami do 3,5 m), dominuje on w fitocenozie i odgrywa najważniejszą rolę w procesach ekologicznych, zachodzących w tym ekosystemie. W tej fitocenozie poza trzciną pojedynczo występują *Lemna minor*, *L. major*, *Thypha latifolia*, które nie mają większego znaczenia biogeocenotycznego w tym ekosystemie. Duża dynamika i wysoka bioproduktywność, zróżnicowana liczebność w środowisku, a także możliwości formowania odmiennych populacji o różnej wytrzymałości na zawartość metali toksycznych czynią z trzciny pospolitej rodzaj bioindykatora ilościowego, wskazującego na występowanie w środowisku określonego zespołu czynników, a także bioindykatora mieszanego, przydatnego do wyróżnienia określonego zjawiska, który zachodzi w ekosystemie (Ye i in., 1997; Hardej, Ozimek, 2002).

Pośród analizowanych pierwiastków stwierdzonych w liściach i łodygach *Phragmites australis* jedne nie wykazują istotnego zróżnicowania pod względem koncentracji, inne charakteryzuje szerokie spektrum wahań (tab. 5). Współczynnik zmienności (W_{zm}) jako stosunek stężenia maksymalnego do minimalnego danego pierwiastka w osadach dennych wynosił on od 3,0 dla żelaza do 69 w przypadku arsenu, a pośrednie wartości osiągały kolejno: K (4,8), Cr (5,7), Ca (6,0), La (11,3), Na (12,4), Zn (12,5), Ba (16,7), Co (17,0), Sb (23,2), Br (28,6), Mo (40,0) i Rb (46,7). Raczej niewielka przestrzenna zmienność cechowała żelazo (0,01—0,02%) oraz potas (0,6%-2,9%), w zależności od akwenu, a także wapń z koncentracją: minimalną, średnią i maksymalną: 0,2%, 0,6% i 1,2%. Arsen osiągał stężenia od ilości śladowych do 0,69 mg/kg przy średniej 0,20 mg/kg, a maksymalne zawartości stwierdzono w zbiorniku zlokalizowanym w sąsiedztwie hałdy odpadów poflotacyjnych rud cynku i ołowiu, wchodzącym w skład kompleksu stawów Żabie Doły. W trzcinie pospolitej tego samego akwenu stwierdzono antymon w maksymalnym stężeniu 1,16 mg/kg, podczas gdy średnie stężenie

Tabela 5. Zawartość wybranych pierwiastków w liściach i łodygach trzciny pospolitej (*Phragmites australis*) porastającej zbiorniki wodne regionu górnośląsko-zagłębiowskiego

Table 5. Concentrations of selected elements in the leaves and stems of common reed (*Phragmites australis*) growing within water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region

Nazwa zbiornika Water body name	K	Ca procent	Fe	Na	Zn	Co	Cr	Ba	Rb mg/kg	Sb	La	Mo	As	Br
Dzierzwno Duże	0,70	0,70	0,02	2910	52	0,8	1,7	24	9	0,07	0,10	1,40	0,01	29,5
Dzierzwno Małe	1,10	0,80	0,02	295	82	0,3	0,6	53	3	0,09	0,12	1,30	0,14	8,4
Pogoria I	0,90	0,60	0,02	635	62	0,2	0,5	36	9	0,13	0,10	0,13	0,13	2,5
Pogoria II	0,80	1,20	0,02	534	200	0,4	0,4	62	10	0,12	0,10	1,60	0,22	11,0
Pogoria III	1,50	0,70	0,02	277	80	0,4	0,4	47	9	0,15	0,10	0,05	0,21	12,5
Chechło	0,70	0,80	0,02	1330	125	0,3	0,4	100	17	0,09	0,68	0,05	0,29	9,4
Stawiki	1,40	0,60	0,02	1710	64	0,5	0,6	41	15	0,24	0,11	0,54	0,29	16,0
Morawa	0,90	1,20	0,02	881	80	0,4	0,6	32	9	0,20	0,26	0,05	0,01	11,5
Hubertus I	1,60	0,40	0,02	828	113	0,3	0,7	19	14	0,19	0,12	0,05	0,42	12,0
Sosina	1,20	0,90	0,03	359	66	0,2	0,7	30	16	0,12	0,12	1,10	0,28	5,3
Pławniowice	1,80	0,80	0,02	998	21	0,4	0,5	51	9	0,07	0,09	0,05	0,29	17,5
Rogoźnik I	0,80	0,60	0,01	860	48	0,2	0,4	22	7	0,10	0,09	0,24	0,08	3,0
Balaton	1,40	0,40	0,02	718	31	0,1	0,4	16	19	0,08	0,08	0,05	0,01	3,7
Miliczyjny	1,00	0,40	0,01	350	52	0,4	0,4	34	9	0,13	0,09	0,36	0,01	14,5
Mały	1,10	0,50	0,02	658	140	0,4	0,6	37	12	0,18	0,11	0,53	0,16	13,0
Kajakowy	1,60	0,70	0,02	418	95	0,6	0,9	41	15	0,36	0,14	1,40	0,39	17,5
Łąka	1,00	0,40	0,02	592	90	0,2	0,7	31	9	0,20	0,11	1,50	0,42	6,3
Kozłowa Góra	1,00	0,70	0,02	768	250	0,4	0,6	33	19	0,14	0,13	1,20	0,58	11,0
Paprocany	0,70	0,50	0,01	751	76	0,2	0,6	31	12	0,06	0,13	0,60	0,15	5,0
Żabie Doły	1,50	0,40	0,02	398	94	0,5	1,0	6	27	1,16	0,10	0,74	0,69	13,0
Bobrek — rozlewisko	1,60	0,40	0,02	455	43	0,9	0,3	21	140	0,08	0,06	0,05	0,01	38,5
Pekin — misa E/E basin	1,10	0,50	0,02	1350	36	0,8	0,4	22	120	0,11	0,09	0,31	0,17	31,5
Pekin — misa W/W basin	1,00	0,20	0,02	614	20	0,4	0,4	13	16	0,12	0,10	0,17	0,01	12,5
Makoszowy Niecka	0,60	0,60	0,02	1650	57	0,6	0,9	21	6	0,12	0,14	0,86	0,24	19,0
Makoszowy Las	1,60	0,40	0,02	384	63	0,3	0,8	28	28	0,11	0,12	0,36	0,13	4,5
Wielikat	1,30	0,70	0,01	758	48	1,7	0,3	40	3	0,07	0,12	0,05	0,01	71,5
Łęczczok	0,90	0,50	0,02	235	38	0,2	0,5	25	10	0,05	0,07	0,61	0,01	6,6
Ostrożnica	2,90	0,50	0,02	479	107	0,6	0,8	45	67	0,27	0,11	2,00	0,35	22,5
Harmże	0,90	0,80	0,02	652	20	0,2	0,6	34	6	0,07	0,11	1,00	0,01	4,8

w roślinach wszystkich obiektów wynosiło 0,17 mg/kg, przy minimum 0,05 mg/kg. Najwyższa koncentracja Ba (100 mg/kg) i La (0,68 mg/kg) cechowała próbki roślinne ze zbiornika Chechło, Co (1,7 mg/kg) i Br (71,5 mg/kg) — ze stawów Wielikąt (1,7 mg/kg), a chromu — ze zbiornika Dzierżno Duże (1,7 mg/kg). Maksymalna koncentracja sodu (2910 mg/kg) w materiale roślinnym ze zbiornika Dzierżno Duże odpowiada wysokiemu zasoleniu wody tam retencjonowanej i analogicznie najwyższy udział cynku (250 mg/kg) dotyczy próbek ze zbiornika Kozłowa Góra, którego zlewnia znajduje się na terenach rudonośnych cynkui ołowiu, a akwen pozostaje pod wpływem emisji zanieczyszczeń hutnictwa żelaza.

Zawartość pierwiastków śladowych w liściach i łodygach trzciny pospolitej wskazuje na duże przestrzenne zróżnicowanie regionalne. Dokumentuje tym samym zróżnicowanie warunków siedliskowych omawianej rośliny, utożsamianych z obrzeżami zbiorników wodnych. Różnice koncentracji pierwiastków śladowych mają wiele uwarunkowań, wśród których zasobność podłoża w składniki mineralne oraz żyzność wody wydają się być nie zawsze najważniejsze. Świadczą o tym w większości nieistotnie statystycznie wartości współczynników korelacji, obliczonych dla przewodności właściwej wody, zawartości PO_4^{3-} i NO_3^- w wodzie oraz poszczególnych mikroelementów, które występują w trzciny pospolitej. Jedynie w przypadku korelacji zawartości chromu i sodu w okazach *P. australis* z wartościami przewodności właściwej wody stwierdzono wysoką, wprost proporcjonalną zależność.

Szerokie spektrum ekologiczne *P. australis* w stosunku do wszystkich parametrów siedliskowych pozwala na rozwój tego gatunku od ekosystemów oligotroficznych do eutroficznych. W związku z tym słabe odzwierciedlenie warunków podłoża w tkankach trzciny uwarunkowane jest krótkim cyklem biologicznym (Rahmonov, 2007) oraz zasobnością wody w składniki pokarmowe (Rzętała, 2000; Rzętała i in., 2009). Wynika z tego również, że skład całościowy i zawartość pierwiastków w osadach podłoża odbiegają od właściwości skały macierzystej niezmienionej przez działalność człowieka i zapewniają wystarczającą ilość nutrientów dla rozwoju *P. australis*.

Zawartość pierwiastków budujących liście i łodygi okazów roślin znajduje niewielkie odzwierciedlenie w stanie jakościowym materiału pochodzącego z sedimentacji roślinności porastającej powierzchnie akumulacyjnej i podlegającej cyklowi rozwoju w okresie wegetacyjnym. Złożoność relacji między roślinnością a osadami podłoża, w wielu przypadkach kształtowanymi w warunkach niestabilnych pod względem środowiskowym (wahania stanów wody, przepływowość, zanieczyszczenie), najlepiej oddaje przykład osadu z podłoża bujnie rozwiniętej roślinności, porastającej deltę i strefę brzegową zbiornika Dzierżno Duże. Osad występujący na powierzchni delty w podłożu roślin (utożsamiany częściowo z materiałem sedimentacyjnym) pod względem składu ma cechy pośrednie między osadami otoczenia misy zbiornika a typowymi osadami deltowymi z akumulacją materiału rzeczno-ego z silnie zmienionej antropogenicznie zlewni. W jego składzie podstawowym stwierdzono: SiO_2 — 24,10%, Al_2O_3 — 8,93%, Fe_2O_3 — 5,13%, MnO — 0,07%, MgO — 1,26%, CaO — 2,73%, Na_2O — 0,22%, K_2O —

1,24%, TiO_2 — 0,39%, P_2O_5 — 0,85%, S — 1,9%, a strata prażenia wynosiła średnio 51,47%. Na pośredni charakter tych osadów względem osadów deltowych i otoczenia misy wskazuje również zawartość w nich pierwiastków śladowych: Ba — 1380,0 mg/kg, As — 20,5 mg/kg, Be — 2,0 mg/kg, Cu — 142,0 mg/kg, Pb — 226,5 mg/kg, Zn — 1291,0 mg/kg, Ni — 52,0 mg/kg, Cd — 14,3 mg/kg, Co — 18,0 mg/kg, Cr — 138,0 mg/kg, Cs — 8,2 mg/kg, Mo — 2,5 mg/kg, Sb — 5,7 mg/kg, La — 22,6 mg/kg, Ce — 42,5 mg/kg, Nd — 13,5 mg/kg, Sm — 4,1 mg/kg, Eu — 1,1 mg/kg, Sc — 8,9 mg/kg, U — 4,4 mg/kg, Th — 11,0 mg/kg. Pod względem zawartości makroskładników i mikroelementów materiał powstający przy udziale sedimentacji charakteryzuje się pośrednimi poziomami ich zawartości w porównaniu do allochtonicznych osadów rzecznych i autochtonicznych osadów podłoża i obrzeżenia misy (por. rozdz. 5.1). W przypadku kilku składników — zwłaszcza toksycznych metali Zn, Pb, Cu, Ni, Cd, Cr — osady formowane z udziałem sedimentacji charakteryzują się najwyższą ich koncentracją, co może wskazywać na selektywność doboru składników przez rośliny w procesach ich wzrostu i rozwoju. W osadach sedimentacyjnych oznaczono również największą ilość CaO i P_2O_5 , podobnie dominowała strata prażenia, co zrozumiałe wobec dostawy roślinnej materii organicznej, jako ich materiału budulcowego.

5.3. Formy brzegowe jako indykator przemian geomorfologicznych w strefie litoralnej

Przemiany geomorfologiczne strefy brzegowej zbiorników antropogenicznych są problemem rozpatrywanym szczegółowo, co najwyżej w odniesieniu do akwenów dużych i bardzo dużych (Głodek, 1985). Skala zmian w ukształtowaniu brzegów w przypadku takich zbiorników jest bardzo duża, a ich wyrazem są procesy i formy abrazyjne oraz akumulacyjne, pozostające zwykle w konflikcie z funkcjami przewidzianymi dla powierzchni terenu w koncepcjach jego zagospodarowania przestrzennego. W niektórych państwach procesy brzegowe zbiorników antropogenicznych wespół z formowaniem delt i pokryw osadów dennych w ich obrębie są rozpatrywane w kategoriach regionalnych lub ponadregionalnych problemów środowiskowych, ekologicznych, osadniczych, gospodarczych, militarnych, obronnych. Dobrym przykładem takiej sytuacji są akweny zaporowe angarskiej kaskady zbiorników wodnych, której pierwszy obiekt przyczynia się dodatkowo do podpiętrzenia wód Bajkału średnio o kilkadziesiąt centymetrów (Trzhtsin'skiy, Rzętała, 2004). Trudno wskazać bardziej okazałe przykłady znaczenia problematyki badań procesów brzegowych, jeśli, jak podaje G.I. Owczinnikow (1996):

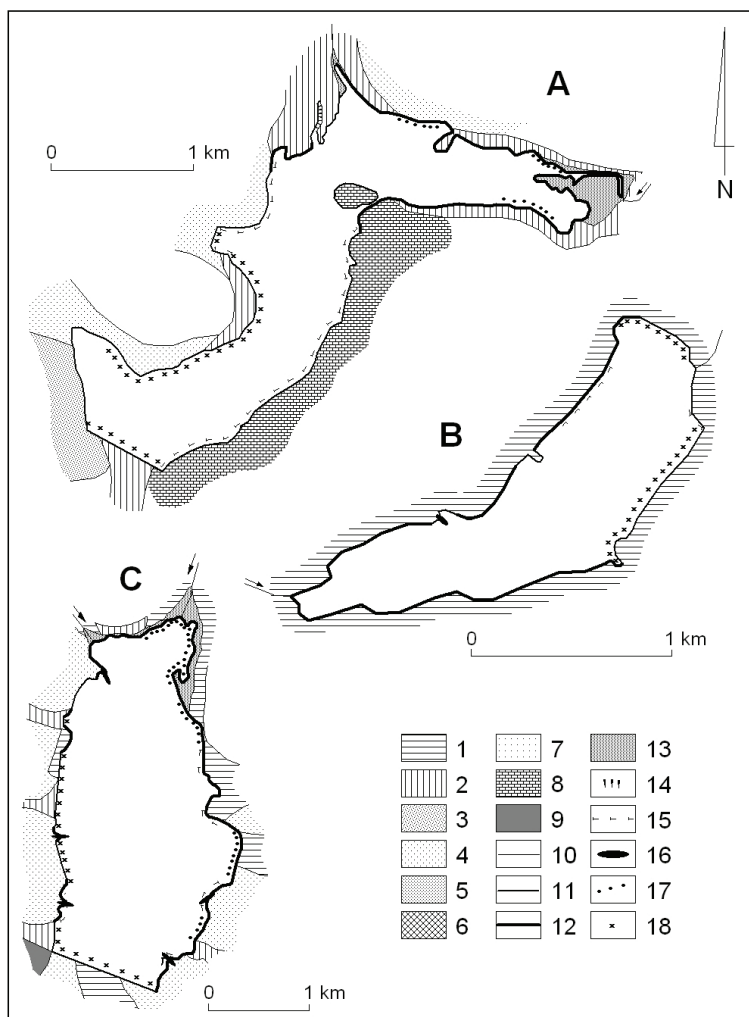
— w konsekwencji antropogenicznego podpiętrzenia wód Bajkału o powierzchni ponad 30 tys. km^2 dochodzi do zmian rzeźby jego wybrzeża na długości ponad 2 tys. km (aktywizacja osuwisk, akumulacja, abrazja),

- długość abradowanych brzegów wynosi 134 km, tj. 51% długości linii brzegowej (Zbiornik Irkucki), 2,1 tys. km, tj. 34% (Zbiornik Bracki) i 600 km, tj. 34% (Zbiornik Ust-Ilimski),
- powierzchnie rozmywane, a tym samym bezpowrotnie utracone szacuje się na 3 km² nad Zbiornikiem Irkuckim, 50 km² nad Zbiornikiem Brackim i 6 km² nad Zbiornikiem Ust-Ilimskim, przy czym ekstremalne tempo abrazji wynosiło 18 m/rok nad Zbiornikiem Brackim i 500 m w 50-letnim okresie eksploatacji Zbiornika Irkuckiego.

W zbiornikach wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego procesy brzegowe należy traktować w kategoriach mikroskalowych, ze względu na niewielką powierzchnię akwenów wód stojących, zwłaszcza w porównaniu do dużych zbiorników wodnych na świecie. Antropogeniczne misy zbiorników wodnych w tym regionie liczą często nie więcej niż kilkadziesiąt lat. Są one stosunkowo młodym elementem środowiska geograficznego. Zdecydowana większość naturalnych procesów modelujących ich kształt jest typowa dla młodocianego i dojrzałego stadium rozwoju form jeziornych na obszarze młodoglacjalnym i w strefie litoralnej. Jednocześnie zmiany te są niezwykle dynamiczne i dowodzą szybkiej reakcji naturalnych procesów rzeźbotwórczych na antropogenezę rzeźby.

Przejawem intensywnych zmian geomorfologicznych są formy abrazyjne (np. klify, terasy) — nielicznie występujące na brzegach zbiorników zaporowych, częściej w obrębie zbiorników poeksploatacyjnych (rys. 44—47). Tempo cofania ścian abrazyjnych jest stosunkowo niewielkie (średnio do 10 cm na rok), a ilość materiału pochodzącego z abrazji klifowych wybrzeży, w zależności od zbiornika wodnego, wynosi od 0 do około 67 000 m³ za okres eksploatacji. Z przejawami degradacji brzegów nawet niewielkich zbiorników górnośląskich wiążą się zagrożenia lub zniszczenia elementów infrastruktury hydrotechnicznej, aczkolwiek nie są to szkody uciążliwe i należą do stosunkowo łatwo usuwalnych. Dla przeciwdziałania skutkom abrazji w tych zbiornikach zwykle wystarczają proste zabezpieczenia przeciwabrazyjne.

Z kolei formy akumulacyjne (cypłe piaszczyste, plaże, mineralne i organiczne wały brzegowe, mielizny, strefy akumulacji materiału utrwalone przez roślinność) występują w obrębie większości zbiorników wodnych, zwłaszcza tych o dojrzałej rzeźbie wybrzeża (rys. 44—47). Są one stosunkowo częstym elementem rzeźby stref brzegowych zbiorników zaporowych oraz niektórych poeksploatacyjnych i praktycznie wszystkich w nieckach osiadania. Nieliczne formy akumulacyjne występują również na brzegach zbiorników groblowych, w obrębie których dominują brzegi o akumulacyjnym lub neutralnym charakterze. Rozwój form akumulacyjnych jest przyczyną utrudnień w przystaniach, powoduje zamulanie i spłykanie użytkowanych akwenów, także fragmentów brzegu oraz odcinków cieków odprowadzających wodę, prowadzi do utrudnień w poborze wody, skutkuje zarastaniem brzegów w sąsiedztwie pomostów i kąpielisk itd. Czasami akumulacyjny rozwój brzegu jest uciążliwy ze względu na szybkie tempo przebiegu; wymaga ingerencji dla utrzymania funkcjonalności całej strefy brzegowej. Zwykle są to lokalnie prowadzone zabiegi polegające na plantowaniu powierzchni, usuwaniu

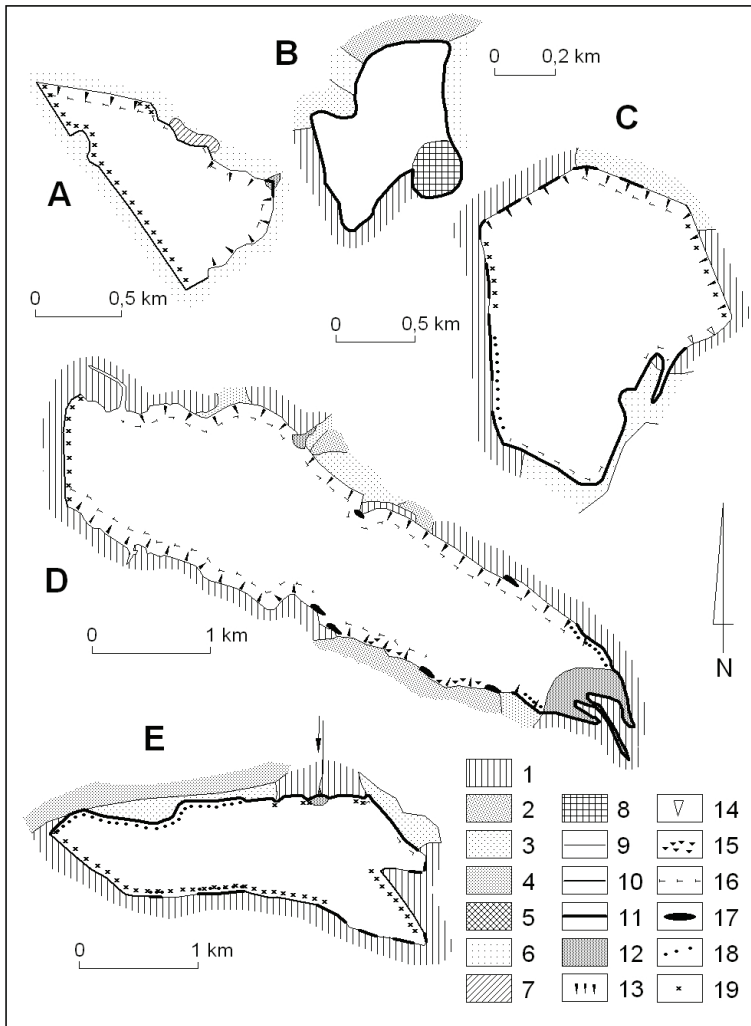


Rys. 44. Procesy brzegowe w obrębie zaporowych zbiorników wodnych:

A – Przeczyce, 2 – Paprocany, 3 – Kozłowa Góra; 1 – torfy (holocen), 2 – mułki, piaski i żwiry rzeczne (holocen), 3 – piaski eoliczne (czwartorzęd), 4 – mady, mulki, piaski i żwiry rzeczne (plejstocen), 5 – lesy (plejstocen), 6 – piaski, żwiry, gliny i głazy lodowcowe (plejstocen), 7 – piaski i żwiry wodnolodowcowe (plejstocen), 8 – dolomity margliste i diploporowe, wapienie, margle i dolomity (trias środkowy), 9 – ilowce, mułowce, piaskowce, węgiel kamienny (karbon górny), 10 – brzegi abrazyjne, 11 – brzegi neutralne, 12 – brzegi akumulacyjne, 13 – delty, 14 – klify, skarpy, 15 – plaże, 16 – mierzaje, kosy, 17 – wały brzegowe, 18 – umocnienia antropogeniczne (bruk kamienny, matrace siatkowo-kamienne, płyty betonowe, itp.).

Fig. 44. Shore processes within reservoirs impounded by dams:

A – Przeczyce, 2 – Paprocany, 3 – Kozłowa Góra; 1 – peats (Holocene), 2 – fluvial loams, sands and gravels (Holocene), 3 – eolian sands (Quaternary), 4 – alluvial soils, fluvial loams, sands and gravels (Pleistocene), 5 – loesses (Pleistocene), 6 – glacial sands, gravels, clays and boulders (Pleistocene), 7 – glaciofluvial sands and gravels (Pleistocene), 8 – marly and Diplopora dolomites, limestones, marls and dolomites (Middle Triassic), 9 – claystones, mudstones, sandstones, hard coal (Upper Carboniferous), 10 – abrasion shores, 11 – neutral shores, 12 – accumulation shores, 13 – deltas, 14 – cliffs, escarpments, 15 – beaches, 16 – bars, spits, 17 – berms, 18 – artificial reinforcements (paving stones, gabion mattresses, concrete slabs, etc.).

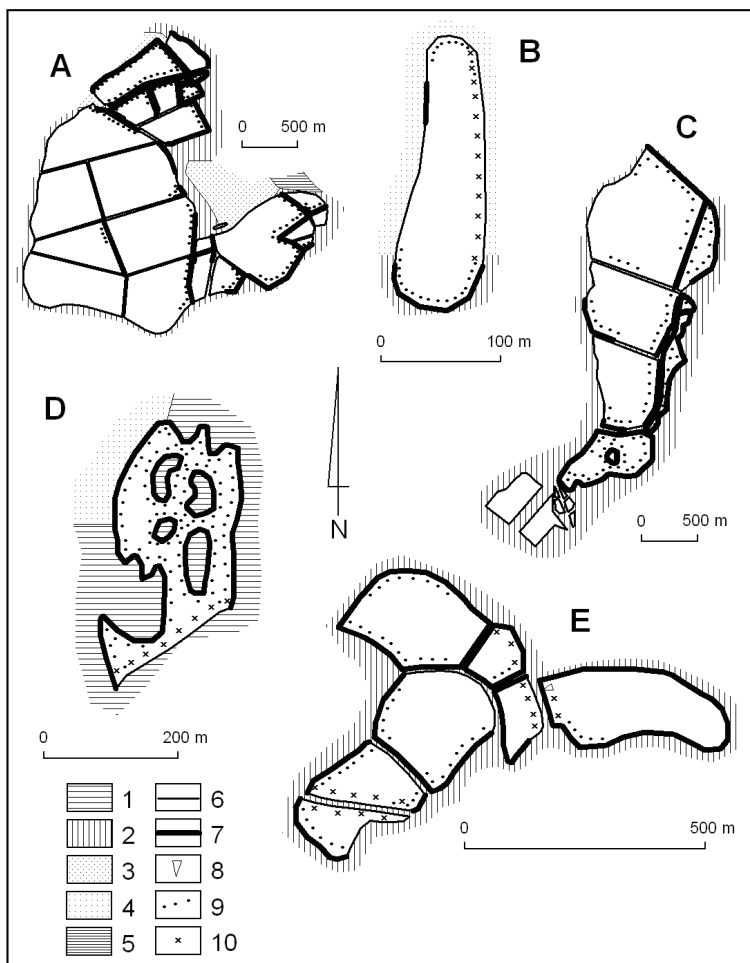


Rys. 45. Procesy brzegowe w obrębie poeksploatacyjnych zbiorników wodnych:

A – Pogoria I, B – Pogoria II, C – Pogoria III, D – Dzierżno Duże, E – Pławniowice; 1 – mulki, piaski i żwiry rzeczne (holocen), 2 – piaski eoliczne (czwartorzęd), 3 – mady, mulki, piaski i żwiry rzeczne (plejstocen), 4 – lessy (plejstocen), 5 – piaski, żwiry, gliny i glazy lodowcowe (plejstocen), 6 – piaski i żwiry wodnolodowcowe (plejstocen), 7 – młaki, 8 – strefa podtopień roślinności, 9 – brzegi abrazyjne, 10 – brzegi neutralne, 11 – brzegi akumulacyjne, 12 – delty, 13 – klify, skarpy, krawędzie poeksploatacyjne, 14 – mikrozatoki, 15 – abrazyjne nagromadzenia rumoszu, 16 – plaże, 17 – mierzejce i kosa, 18 – wały brzegowe, 19 – umocnienia antropogeniczne (bruk kamienny, materace siatkowo-kamienne, płyty betonowe, itp.).

Fig. 45. Shore processes within flooded mineral workings:

A – Pogoria I, B – Pogoria II, C – Pogoria III, D – Dzierżno Duże, E – Pławniowice; 1 – fluvial loams, sands and gravels (Holocene), 2 – eolian sands (Quaternary), 3 – alluvial soils, fluvial loams, sands and gravels (Pleistocene), 4 – loesses (Pleistocene), 5 – glacial sands, gravels, clays and boulders (Pleistocene), 6 – glaciofluvial sands and gravels (Pleistocene), 7 – bog-springs, 8 – inundated vegetation zone, 9 – abrasion shores, 10 – neutral shores, 11 – accumulation shores, 12 – deltas, 13 – cliffs, escarpments, former exploitation edges, 14 – micro-bays, 15 – debris accumulations caused by abrasion, 16 – beaches, 17 – bars and spits, 18 – berms, 19 – artificial reinforcements (paving stones, gabion mattresses, concrete slabs, etc.).



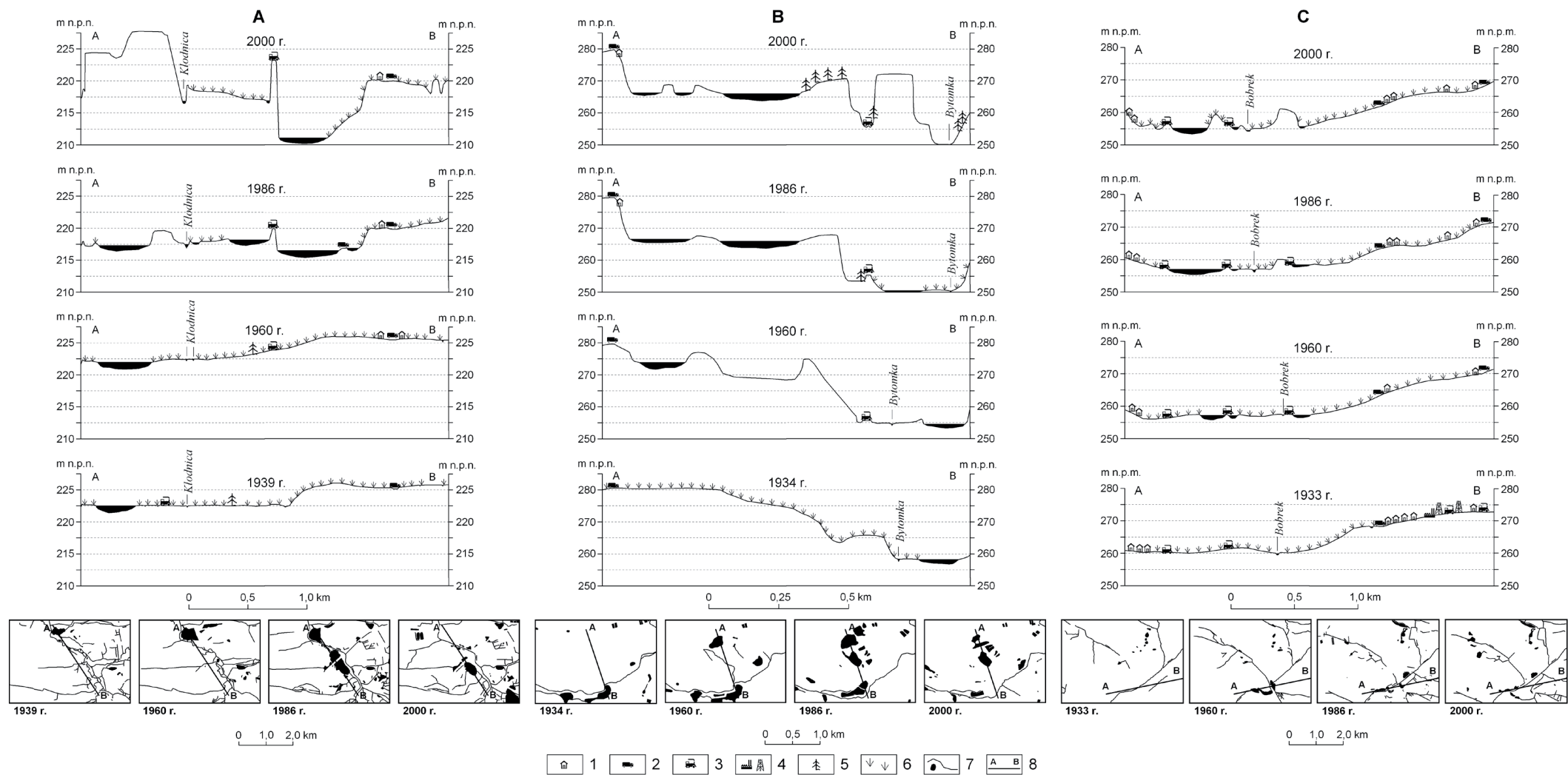
Rys. 46. Procesy brzegowe w obrębie groblowych zbiorników wodnych:

A – Wielikąt, **B** – Przetok, **C** – Łęczczok, **D** – Ostrożnica, **E** – Kradziejówka; 1 – torfy (holocen), 2 – mułki, piaski i żwiry rzeczne (holocen), 3 – mady, mułki, piaski i żwiry rzeczne (plejstocen), 4 – piaski i żwiry wodnolodowcowe (plejstocen), 5 – iły i piaski z syderytami i węglem brunatnym warstw kędzierzyńskich (neogen), 6 – brzegi neutralne, 7 – brzegi akumulacyjne, 8 – mikrozatoki, 9 – wały brzegowe, 10 – umocnienia antropogeniczne (bruk kamienny, materace siatkowo–kamienne, płyty betonowe, itp.).

Fig. 46. Shore processes within levee ponds:

A – Wielikąt, **B** – Przetok, **C** – Łęczczok, **D** – Ostrożnica, **E** – Kradziejówka; 1 – peats (Holocene), 2 – fluvial loams, sands and gravels (Holocene), 3 – alluvial soils, fluvial loams, sands and gravels (Pleistocene), 4 – glaciofluvial sands and gravels (Pleistocene), 5 – clays and sands with siderites and lignite from Kędzierzyn Beds (Neogene), 6 – neutral shores, 7 – accumulation shores, 8 – micro-bays, 9 – berms, 10 – artificial reinforcements (paving stones, gabion mattresses, concrete slabs, etc.).

roślinności, karczunku drzew i krzewów. Natomiast okresowe usuwanie materiału zakumulowanego w delcie Kłodnicy uchodzącej do zbiornika Dzierżno Duże, prowadzone w ramach oczyszczania zbiornika ma wymiar eksploatacji złoża antropogenicznego, ukierunkowanego na pozyskiwanie surowca o przeznaczeniu głównie energetycznym.

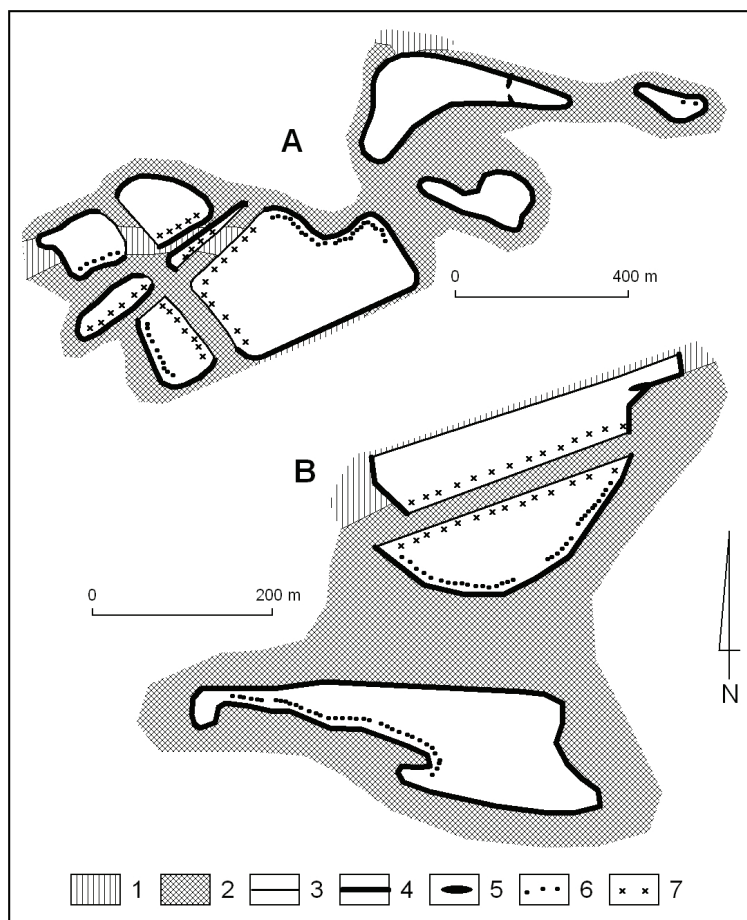


Rys. 48. Model przemian geomorfologicznych zbiorników wodnych w nieckach osiadania w regionie górnośląsko-zagłębiowskim (wg: Mapa topograficzna Polski..., 1933, 1960, 1987, 1988, 1995, 1996, 1998a, 1998b, 2001, 2010; Topographische Karte, 1934, 1939):

A – w Gliwiczach-Sośnicy, B – w Bytomiu-Szombierkach, C – w Sosnowcu-Klimontowie; 1 – tereny zabudowane, 2 – drogi, 3 – koleje, 4 – tereny przemysłowe, 5 – lasy i zadrzewienia, 6 – roślinność krzewiasta i szuwarowa, 7 – ciek i zbiorniki wodne, 8 – linie profilu.

Fig. 48. Model of geomorphological transformations of water bodies in subsidence basins in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (after Mapa topograficzna Polski... 1933, 1960, 1987, 1988, 1995, 1996, 1998a, 1998b, 2001, 2010; Topographische Karte 1934, 1939):

A – in Gliwice-Sośnica, B – in Bytom-Szombierki, C – in Sosnowiec-Klimontów; 1 – built-up areas, 2 – roads, 3 – railways, 4 – industrial areas, 5 – trees and plantings, 6 – shrubs and rushes, 7 – watercourses and water bodies, 8 – profile lines.



Rys. 47. Procesy brzegowe w obrębie zbiorników wodnych w nieckach osiadania:

A – Żabie Doły, B – Makoszowy; 1 – osady rzeczne w ogólności (holocen), 2 – gliny zwałowe lub zwierzelina gliny zwałowej (plejstocen), 3 – brzegi neutralne 4 – brzegi akumulacyjne, 5 – cyple (kosi), 6 – wały brzegowe, 7 – umocnienia antropogeniczne (bruk kamienny, materace siatkowo-kamienne, płyty betonowe, itp.).

Fig. 47. Shore processes within water bodies in subsidence basins:

A – Żabie Doły, B – Makoszowy; 1 – fluvial sediments in general (Holocene), 2 – boulder clays or boulder clay waste (Pleistocene), 3 – neutral shores, 4 – accumulation shores, 5 – tips (spits), 6 – berms, 7 – artificial reinforcements (paving stones, gabion mattresses, concrete slabs, etc.).

Scenariusze przemian geomorfologicznych zbiorników wodnych w nieckach osiadania są wpisane w ciągłość procesów deformujących podłoże ich mis (rys. 48). Powstawanie podmokłości, zalewisk i niewielkich zbiorników wodnych na powierzchni terenu wiąże się z podziemną eksploatacją surowców mineralnych. Utworzone pod skałami nadkładu podziemne wyrobiska po wyeksploatowanych złożach ulegają zawałaniu, a to skutkuje powolnym (ciąglym) lub gwałtownym (nieciąglym) ugięciem utworów wyżej występujących, czyli osiadaniem lub zapadaniem wyraźnie zaznaczającym się na powierzchni terenu. W takich warunkach powstają szkody społeczno-gospodarcze, np.: zniszczenia infrastrukturalne, zmiana użytkowania te-

renu, przesiedlenia ludności (Żmuda, 1973; Machowski, 2010; Jankowski i in., 2001; Molenda i in., 2001; Dulias, 2013). A. T. Jankowski i in. (2001) piszą, że omawiane zbiorniki wodne nie są świadomym i estetycznym pod względem przestrzennym i gospodarczym kształtowaniem otoczenia człowieka, lecz w bardzo krótkim czasie asymilują się z otaczającym środowiskiem (Szczypek, Wach, 1992; Chmiel i in., 2002). M. Rzętała (2008) twierdzi, że spośród wszystkich rodzajów sztucznych zbiorników wodnych, ten typ ma w pełni wykształcone relacje z poszczególnymi komponentami środowiska od samego początku formowania misy zbiornikowej, a proces kompozycji zbiornika w krajobrazie można ocenić jako bezkolizyjny przyrodniczo, w porównaniu do wszystkich innych typów genetycznych jezior antropogenicznych. Skutkiem takich procesów jest stała tendencja do zwiększania głębokości i powierzchni zbiornika wodnego. Jak wynika z obserwacji poczynionych przez O. Rahmonova i in. (2004) oraz S. Łopucha (1995), tendencji takiej towarzyszy zwykle przyrost powierzchni zajmowanej przez roślinność. Geomorfologiczna przebudowa strefy brzegowej zbiorników w strefie osiadania obejmuje spontaniczną eliminację zbiorowisk typowo lądowych na rzecz postępującej jej kolonizacji przez zbiorowiska roślinności wodno-lądowej i wodnej, ze zbiorowiskami roślinności jednorocznej włącznie.

Na przemiany o charakterze *quasi*-przyrodniczym nakładają się efekty zabiegów antropogenicznych, polegających na formowaniu zagłębień w strefach osiadania, które niejednokrotnie dotyczą również znajdujących się tam zbiorników wodnych. Zabiegi te polegają na regulowaniu stosunków wodnych i na geomechanicznych przekształceniach w obrębie strefy osiadania, z częstą likwidacją efektów osiadania na całej powierzchni przez zasypanie i niwelację terenu.

Przemiany geomorfologiczne w strefie brzegowej zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego można utożsamiać z kilkoma, charakterystycznymi etapami rozwoju, które pozostają w ścisłym związku z ewolucją zbiorników jako geosystemów (Jaguś i in., 1998, Rzętała, 2003, 2008). Choć w tym samym czasie różne fragmenty brzegu zbiornika mogą znajdować się na różnych etapach rozwoju, to w ogólności na podstawie dominujących procesów geomorfologicznych w strefie brzegowej można wyróżnić stadia: abrazyjne, abrazyjno-akumulacyjne i akumulacyjne.

Istotą przemian geomorfologicznych w stadium abrazyjnym jest pojawienie się nowych jakościowo procesów morfogenetycznych w związku ze zmianą bazy erozyjnej spowodowanej retencją wód stojących. W kształtowaniu rzeźby brzegu zbiornika uczestniczą przede wszystkim abrazyjne procesy brzegowe, których elementami składowymi są: splukiwanie, odpadanie, obrywanie, osuwanie. Ich efektywność morfogenetyczna jest tym większa, im większe są zakres i częstotliwość wahań stanów wody, co prowadzi do przeobrażeń geomorfologicznych na coraz to innych horyzontach wybrzeża. Naturalnym kresem stadium abrazyjnego jest osiągnięcie przez brzeg profilu równowagi. Stadium abrazyjne zwykle dotyczy większości zbiorników wodnych w początkowym okresie funkcjonowania. Wyjątek stanowią prawie zawsze zbiorniki w nieckach osiadania, w których początkowym etapem kształtowania brzegów, z uwagi na powolność procesów deformacyjnych, jest stadium akumulacyjne. W większości

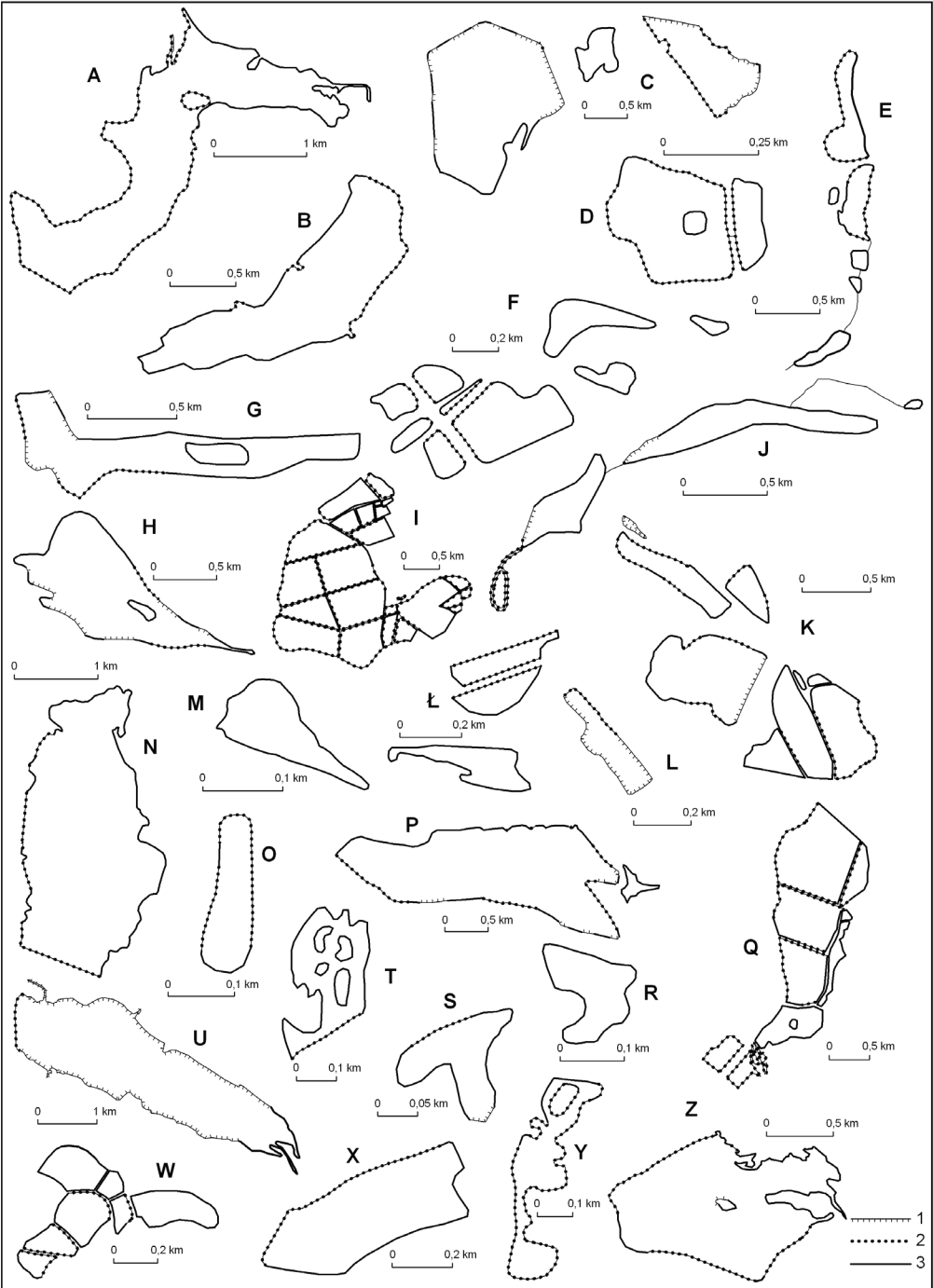
zbiorników regionu górnośląsko-zagłębiowskiego ten etap morfologicznego rozwoju wybrzeża został już zakończony. Przykładem akwenu, w którym współcześnie występują brzegi objęte pierwszym etapem rozwoju jest Kuźnica Wareżyńska.

Stadium abrazyjno-akumulacyjne to etap wyrównywania linii brzegowej przy udziale zarówno abrazyji, jak i akumulacji. Abrazyjnym odcinkom wybrzeża z rozwiniętymi platformami abrazyjnymi coraz liczniej towarzyszą jego fragmenty o akumulacyjnym charakterze. Zdecydowanie liczniej niż w poprzednim stadium reprezentowane są formy akumulacyjne, np. cyple (kosalce), mierzeje, wały brzegowe. Dłoty u ujścia dopływów na trwale wpisują się w rzeźbę wybrzeża. Dynamiczny proces kolonizacji brzegów przez roślinność skutkuje coraz większą rolą pokrywy roślinnej w utrwalaniu rzeźby wybrzeża. Stadium abrazyjno-akumulacyjnego wyrównywania linii brzegowej jest typowe dla zbiorników: Dzierżno Duże, Sosina, Pogoria III, Dzieckowice, Nakło-Chechło, Pławniowice.

Uformowane już stadium akumulacyjne charakteryzuje się tendencją do utrwalenia rzeźby strefy brzegowej. Jej charakterystycznymi elementami są dominujące ilościowo formy akumulacji biogenicznej lub formy akumulacji mineralnej, często mające obudowę organiczną. Zdarza się, że w górnej części profilu brzegowego formy abrazyjne są reprezentowane przez klif martwy. Cechą stadium akumulacyjnego jest zwykle intensywny przyrost masy roślinnej w konsekwencji procesów sedymentacyjnych i sedentacyjnych w częściach nadwodnej i podwodnej strefy litoralnej. Proces kolonizacji wybrzeża przez roślinność dominuje nad morfologiczną efektywnością przemieszczania materiału mineralnego, a o intensywności sukcesji roślinności decydują zawartość substancji biogennych w wodzie zbiornika i warunki litologiczne na brzegach, przy wzrastającej roli inicjalnych procesów glebotwórczych. Na akumulacyjnym etapie rozwoju znajdują się obecnie brzegi zbiorników: Pogoria II, Kozłowa Góra.

W efekcie oddziaływania procesów zachodzących w strefie brzegowej zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego ukształtowały się trzy charakterystyczne typy wybrzeży (rys. 49): abrazyjne, neutralne (strefa ustabilizowania) i akumulacyjne. Ich wyróżnienie uwzględnia morfodynamikę strefy litoralnej, będącą wypadkową oddziaływania wielu czynników przyrodniczych i antropogenicznych. Na 192,8 km łącznej długości brzegów zbiorników wodnych 21,2 km (tj. 11,0%) stanowią brzegi abrazyjne, brzegi akumulacyjne mają 97,1 km długości (tj. 50,3%), a na brzegi neutralne przypada 74,6 km (tj. 38,7%). Taki rozkład brzegów pod względem morfodynamicznym wskazuje na przewagę procesów akumulacyjnych typowych dla dojrzałego stadium rozwoju strefy litoralnej, mimo niedługiego czasu funkcjonowania rozpatrywanych zbiorników w środowisku (od kilku lat do około 150 lat, przy średniej około 60 lat).

Największą długość brzegów abrazyjnych ma zbiornik Dzierżno Duże (11,4 km, co stanowi 68,6% długości jego brzegów), ale największy odsetek tych brzegów charakteryzuje zbiornik Koparki (73,4%, co odpowiada 0,8 km). Najwięcej brzegów typu akumulacyjnego występuje w zbiornikach Wielikąt (11,2 km, tj. 32,9% długości), ale największy odsetek takich brzegów ma zbiornik: w Sławkowie (100,0%, tj. 0,6 km) oraz Czeladź Norwida (100,0%, tj. 0,5 km). Największą długość brzegów



neutralnych mają zbiorniki Wielikąt, ponieważ stanowią one aż 22,7 km, tj. 67,1% długości brzegów tego kompleksu wodnego. Największy odsetek brzegów neutralnych dotyczy zbiornika Kazimierz (81,5%, tj. 1,7 km).

Przemiany geomorfologiczne zachodzące w strefie brzegowej zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego zasadniczo nie powodują utrudnień w jej użytkowaniu i zapewnieniu funkcjonalności gospodarczej samych akwenów. Nieliczne są przypadki wystąpienia szkód infrastrukturalnych, które klasyfikuje się w kategoriach mikroskalowych, a do ich eliminacji wystarcza zastosowanie prostych zabiegów hydrotechnicznych, np. wykonanie umocnień brzegu narzutem kamiennym. Szkody te na pewno nie są tak spektakularne, jak w przypadku dużych zbiorników wodnych, na miarę syberyjskich (fot. 16), gdzie wielkość rozmywu brzegów miejscami wynosi nawet 200 m w okresie eksploatacji, przy średniej rocznej osiągającej kilkanaście metrów i długości wybrzeży abradowanych mierzonych w setkach i tysiącach kilometrów (Owczinnikow, 1996; Owczinnikow i in., 2002). W przypadku badanych zbiorników wodnych co najwyżej można wskazać utrudnienia eksploatacyjne, powodowane przez procesy zachodzące w strefie brzegowej, np. wypełnianie misy osadami w strefie dopływów powierzchniowych, utożsamiane z zanieczyszczeniem wód i ze wzrostem ich żyzności w konsekwencji zarastania misy i rozwoju roślinności jednorocznej.



Rys. 49. Typologia geomorfologiczna brzegów zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego:

A – Przeczyce, B – Paprocany, C – Pogoria, D – Balaton, E – w zlewni Potoku Leśnego, F – Żabie Doły, G – Sosina, H – Chechło, I – Wielikąt, J – w zlewni Jaworzniaka (zbiorniki Rogoźnik), K – na pograniczu Katowic i Sosnowca, L – Koparki, Ł – w Zabrze-Makoszowach, M – Czeladź Norwida, N – Kozłowa Góra, O – Przetok, P – Pławniowice i Mały Zalew, Q – Łęczczok, R – Sławków, S – Brzeziny, T – Ostroźnica, U – Dzierżno Duże, W – Kradziejówka, X – Hubertus II, Y – Kazimierz, Z – Dzierżno Małe; 1 – brzegi abrazyjne, 2 – brzegi neutralne, 3 – brzegi akumulacyjne.

Fig. 49. Geomorphological typology of shores of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region:

A – Przeczyce, B – Paprocany, C – Pogoria, D – Balaton, E – within the Potok Leśny Stream catchment, F – Żabie Doły, G – Sosina, H – Chechło, I – Wielikąt, J – within the Jaworzniak Stream catchment (Rogoźnik water bodies), K – at the boundary of Katowice and Sosnowiec, L – Koparki, Ł – in Zabrze-Makoszow, M – Czeladź Norwida, N – Kozłowa Góra, O – Przetok, P – Pławniowice and Mały Zalew, Q – Łęczczok, R – Sławków, S – Brzeziny, T – Ostroźnica, U – Dzierżno Duże, W – Kradziejówka, X – Hubertus II, Y – Kazimierz, Z – Dzierżno Małe; 1 – abrasion shores, 2 – neutral shores, 3 – accumulation shores.



Fot. 16. Formy abrazyjne (po lewej) i zniszczone umocnienia przeciwabrazyjne (po prawej) na wybrzeżu zbiornika Irkuckiego (fot. M.A. Rzętała i M. Rzętała)

Photo 16. Abrasion forms (left) and destroyed anti-abrasion structures (right) on the shore of the Irkutsk Reservoir (photo by M.A. Rzętała and M. Rzętała)

5.4. Osady denne jako indykator zanieczyszczenia zbiorników wodnych

Osady denne jako materiał poligenetyczny mają skład chemiczny w dużym stopniu uzależniony od warunków zlewniowych — zarówno tła geochemicznego, jak i antropopresji (Pirrone, Keeler, 1996; Cheung et al., 2003; Nguessan et al., 2009; Joshi and Balasubramanian, 2010). Zatem misy zbiorników wodnych stanowią rodzaj basenów sedymentacyjnych, w których osady denne mogą odgrywać rolę rejestratora zjawisk i procesów geomorfologicznych zachodzących w środowisku (Jernström i in., 2010). Daje to możliwość wykorzystania cech tych osadów jako indykatorów zanieczyszczenia.

Ostatnio szczególnie często jako wskaźniki zanieczyszczenia wykorzystuje się tzw. pierwiastki śladowe, a zwłaszcza metale toksyczne (Rzętała, 2014c). Ich cechą jest sorbowanie w środowisku wodnym przez zawiesiny mineralne (np. minerały ilaste) oraz żywą i martwą materię organiczną (np. glony, związki humusowe), a znaczna część tych mikrozanieczyszczeń jest akumulowana w osadach dennych (Loska, Wiechuła, 2003; Yang, Rose, 2005; Ghrefat, Yusuf, 2006; Skorbiłowicz, Skorbiłowicz, 2011). Do przeprowadzenia oceny stopnia zanieczyszczenia osadów

dennych wybrane zostały następujące pierwiastki śladowe: Zn, Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Co, Ba, Sr, V, As.

Występowanie w znacznych ilościach poszczególnych pierwiastków śladowych w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego (tab. 6) należy uznać za spektakularne lub co najmniej rzadko spotykane, biorąc pod uwagę wyniki analogicznych badań prowadzonych w różnych częściach świata (Dauvalter, 1994; Khan et al., 1995; Szymanowska i in., 1999; Lindström, Håkanson, 2001; Magiera i in., 2002; An, Kampbell, 2003; Ikem et al., 2003; Kosov i in., 2004; Wang i in., 2004; Nguyen i in., 2005; Roach, 2005; Duman i in., 2007; Gantidis i in., 2007; Ochieng i in., 2007; Mutia i in., 2012; Hahladakis i in., 2013; Jaguś i in., 2013).

Koncentracja analizowanych pierwiastków śladowych w osadach jezior w znacznie mniejszym stopniu obciążonych antropopresją z reguły jest niższa od stwierdzonej w osadach dennych zbiorników górnośląsko-zagłębiowskich, które podlegają zróżnicowanej antropopresji. O takiej prawidłowości świadczy wiele wyników badań, zarówno w akwenach w Polsce, jak i poza jej granicami. Przykładowo warto wymienić niektóre wyniki takich badań. Niską koncentrację metali ciężkich stwierdzono w nieodległym od górnośląsko-zagłębiowskich akwenów Jeziorze Żywieckim (Magiera i in., 2002). Niższe niż w badanym obszarze stężenia badanych metali występują w osadach dennych wielkopolskich jezior: Boszkowo, Dominickim i Wielkim (Szymanowska i in., 1999). W tym kontekście można również wymienić: węgierskie jezioro Balaton (Nguyen i in., 2005), system jeziora Seliger w Rosji (Kosov i in., 2004), jezioro Sapania w Turcji (Duman i in., 2007), greckie jeziora Koronia i Volvi (Gantidis i in., 2007), niektóre kenijskie jeziora Doliny Ryftowej (Ochieng i in., 2007), amerykańskie jezioro Texoma (An, Kampbell, 2003) i australijskie jezioro Macquarie (Roach, 2005).

Wśród porównywanych jezior są akweny, które funkcjonują w warunkach antropopresji zarówno rolniczej, jak i przemysłowej. Do takich należy afrykańskie jezioro Naivasha, w osadach którego stężenia ołowiu nie przekraczają kilkudziesięciu mg/kg, a kadmu i miedzi kilku mg/kg (Mutia i in., 2012). W kilku innych jeziorach afrykańskich (Lake Nakuru, Lake Bogoria, Lake Elementatia, Lake Baringo), włącznie z największym w Afryce Jeziorom Wiktorii, koncentracja ołowiu również nie przekracza kilkudziesięciu mg/kg, a kadmu — kilku mg/kg; jedynie miedź w osadach jeziora Wiktorii stwierdzono w stężeniu do 100 mg/kg (Ochieng et al., 2007). Co najmniej o rząd wielkości mniejsze od stwierdzanych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim są stężenia Zn, Pb, Cd, Cu i Cr w osadach dennych jeziora Pontchartrain w USA (Khan et al., 1995, Ikem et al., 2003), do którego w okresie wezbrań kieruje się część wód Mississippi dla ochrony przeciwpowodziowej Nowego Orleanu. Osady denne jeziora Taihu w Chinach (Wang i in., 2004), które funkcjonuje w warunkach antropopresji miejsko-przemysłowej i rolniczej, zawiera badane metale (71,6—370,3 mg/kg — cynk, 258,9—495,4 mg/kg — ołów, 3,9—8,9 mg/kg — kadm, 9,7—102,2 mg/kg — miedź, 84,0—162,1 mg/kg — chrom, 33,5—124,0 mg/kg — nikiel), w nieporównywalnie mniejszych ilościach niż zbiorniki regionu górnośląsko-zagłębiowskiego. Osady denne ponad 20 jezior

Tabela 6. Zawartość pierwiastków śladowych w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego
 Table 6. Content of trace elements in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region

Charakterystyka Characteristics	mg/kg										
	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co	Ba	Sr	V	As
Minimum Minimum	116,0	32,0	0,8	9,0	22,5	12,0	3,0	261,5	64,0	12,5	7,0
Kwartyl 25% 25% quartile	742,7	126,5	6,6	24,4	71,4	25,6	11,3	423,0	106,4	55,2	17,6
Mediana Median	1 431,5	308,5	13,0	45,0	85,0	40,3	15,9	503,3	127,0	70,5	25,5
Kwartyl 75% 75% quartile	3 330,0	524,3	26,6	79,5	114,8	56,5	30,5	671,3	193,0	84,4	39,7
Maksimum Maximum	37 700,0	3 340,0	560,0	271,5	167,5	142,0	99,0	19 200,0	1 037,5	152,0	325,5
Średnia arytmetyczna Arithmetic mean	4 579,3	638,5	42,3	66,0	93,8	46,9	23,0	972,2	183,1	71,2	49,7
Odechylenie standardowe Standard deviation	8827,4	886,7	96,4	63,1	34,1	29,4	19,0	2 648,1	153,9	26,4	67,1
Tło geochemiczne dla regionu * Geochemical background for the region *	259,0	59,0	2,5	15,0	9,0	11,0	4,0	98,0	24,0	12,0	6,0
Tło geochemiczne dla Polski ** Geochemical background for Poland **	62,0	13,0	<0,5	7,0	5,0	6,0	3,0	54,0	20,0	7,0	<5,0

Objaśnienia: * — wg: Lis, Pasieczna, 1995b;

** — wg: Lis, Pasieczna, 1995a.

Explanations: * — after Lis, Pasieczna 1995b,

** — after Lis, Pasieczna 1995a.

na północnym-zachodzie Rosji w pobliżu granicy z Norwegią, podlegające bardzo silnej antropopresji przemysłowej, mają wyższe stężenia miedzi (5,0—6495,0 mg/kg) i niklu (7,0—25790,0 mg/kg), przy zasadniczo niższych zakresach występowania cynku (17,0—1327,0 mg/kg), ołowiu (1,0—176,0 mg/kg) oraz kadmu (<0,5—3,5 mg/kg) (Dauvalter, 1994). Nawet osady śródmiejskich zbiorników wodnych w Sztokholmie (Lindström, Håkanson, 2001), charakteryzują się z reguły mniejszymi stężeniami cynku (170,0—1539,0 mg/kg), ołowiu (75,0—413,0 mg/kg), kadmu (2,1—4,7 mg/kg) i chromu (15,2—38,0 mg/kg), przy większej zawartości miedzi (31,0—1125,0 mg/kg).

Biorąc pod uwagę zakres naturalnego występowania metali ciężkich w osadach wód powierzchniowych regionu śląsko-krakowskiego, określony przez J. Lis i A. Pasieczną (1995b), można stwierdzić brak wyższych ich koncentracji jedynie w nielicznych przypadkach. Dominuje koncentracja pierwiastków śladowych w osadach wyższa od zakresu naturalnego występowania tych pierwiastków, o czym świadczą zwykle dużo większe od tła geochemicznego wartości nie tylko jej mediany, ale też pierwszego kwartyła prób (tab. 6). Świadczą o tym również wartości indeksu geoakumulacyjnego (I_{geo}) (tab. 7). Sporadycznie potwierdzają one brak zanieczyszczenia osadów ($I_{geo} \leq 0.0$) w przypadku: cynku i kadmu — w 6 zbiornikach, ołowiu — w 10, miedzi — w 9, niklu — w 4, kobaltu — w 2, wanadu i arsenu — w jednostkowych obiektach, a sytuacja taka nie dotyczy: chromu, baru i strontu. W zdecydowanej przewadze wartości indeksu geoakumulacyjnego są typowe dla osadów umiarkowanie zanieczyszczonych ($0,0 < I_{geo} < 1,0$ lub $1,0 < I_{geo} < 2,0$), a poza jednym wyjątkiem w żadnym innym przypadku nie wskazują na silne ($2,0 < I_{geo} < 3,0$ lub $3,0 < I_{geo} < 4,0$) bądź ekstremalne zanieczyszczenie ($4,0 < I_{geo} < 5,0$ lub $5,0 < I_{geo}$).

Tabela 7. Wartości indeksu geoakumulacyjnego (I_{geo}) obliczone dla pierwiastków śladowych w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego

Table 7. Geoaccumulation index (I_{geo}) values calculated for trace elements in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region

Charakterystyka/ Characteristics	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co	Ba	Sr	V	As
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dzierżno Duże	0,28	0,15	0,31	0,66	0,89	0,46	0,54	1,06	0,77	0,66	0,34
Dzierżno Małe	-0,02	-0,10	-0,17	0,01	0,66	0,15	0,36	0,47	0,94	0,49	0,14
Pogoria I	0,52	0,43	0,61	0,29	0,99	0,48	0,56	0,66	0,47	0,79	0,33
Pogoria II	0,20	0,71	0,36	0,01	0,81	0,01	0,07	0,40	0,40	0,50	0,31
Pogoria III	0,09	0,27	0,07	0,14	0,90	0,40	0,50	0,54	0,49	0,67	0,29
Czechłó	0,56	0,75	0,68	0,50	0,82	0,48	0,56	2,12	1,14	0,65	0,67
Stawiki	1,29	1,27	1,32	0,79	1,08	0,49	0,75	0,50	0,73	0,63	0,88
Morawa	1,80	1,50	1,50	1,05	1,09	0,81	0,79	0,72	0,70	0,84	1,12
Hubertus I	1,96	1,55	1,98	1,08	0,89	0,89	1,06	0,60	0,83	0,60	1,56
Gliniak	1,76	1,47	1,79	1,06	1,00	0,63	0,71	0,60	0,65	0,75	1,26
Hubertus II	0,81	0,17	0,54	0,35	0,75	0,35	0,57	1,09	1,46	0,61	0,19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Borki	0,78	1,27	0,88	0,32	0,92	0,33	0,41	0,55	0,45	0,58	0,59
Borki Małe	0,95	1,42	1,03	0,64	1,09	0,55	0,74	0,51	0,48	0,64	0,94
Sosina	0,63	0,50	0,67	0,32	0,91	0,59	0,71	0,44	0,74	0,65	0,38
Pławniowice	-0,33	-0,42	-0,31	-0,07	0,53	0,04	0,19	0,39	0,84	0,27	0,29
Mały Zalew	0,42	-0,19	0,58	0,12	0,65	0,35	0,50	0,49	0,59	0,53	0,55
Rogoźnik (wschodni/east)	0,41	0,45	0,56	-0,12	0,61	-0,01	0,12	0,45	0,48	0,37	0,35
Rogoźnik I (środkowy/ middle)	0,31	0,67	0,75	-0,01	0,73	0,10	0,30	0,64	0,54	0,50	0,55
Rogoźnik (zachodni/west)	0,05	0,42	0,50	-0,21	0,61	-0,14	0,00	0,45	0,59	0,32	0,19
Balaton	0,42	0,20	0,51	-0,01	0,96	0,29	0,40	0,47	0,40	0,46	0,16
Czeladź Norwida	0,51	0,56	0,52	0,19	0,74	0,19	0,26	0,50	0,47	0,49	0,43
Milicyjny	0,06	-0,42	0,04	-0,24	0,74	0,20	0,22	0,48	0,50	0,51	0,00
Mały	0,89	0,26	0,95	0,27	0,79	0,41	0,40	0,52	0,67	0,63	0,44
Kajakowy	1,00	0,82	1,10	0,54	0,93	0,63	0,64	0,65	0,52	0,81	0,90
Łąka	1,33	0,95	1,25	0,74	0,84	0,93	1,13	0,53	0,50	0,72	1,13
Ozdobny	0,63	0,59	0,53	0,74	0,91	0,43	0,37	0,66	0,68	0,68	0,58
Kazimierz	0,51	0,42	0,53	0,27	0,97	0,35	0,40	0,46	0,48	0,64	0,35
Gliniok	-0,16	0,09	-0,49	0,34	0,94	0,63	0,75	0,67	0,72	0,93	0,28
Koparki	0,46	0,27	0,22	-0,11	0,22	-0,12	-0,30	0,25	0,25	-0,16	0,80
Amendy	0,59	0,53	0,58	0,71	1,07	0,50	0,45	0,70	0,68	0,68	0,52
Brzeziny	1,99	1,58	2,17	0,69	0,65	0,35	0,37	0,58	0,94	0,31	1,51
Kozłowa Góra	0,64	0,73	0,68	0,42	0,73	0,20	0,42	0,86	0,44	0,56	0,65
Przeczycze	0,57	0,78	0,54	0,20	0,79	0,23	0,40	0,55	0,48	0,55	0,54
Paprocany	0,28	-0,09	0,20	0,07	1,01	0,41	0,73	0,61	0,52	0,57	0,60
Żabie Doły	0,97	1,03	0,93	0,45	0,76	0,38	0,48	0,72	0,73	0,62	0,84
Bobrek — rozlewisko/ inundated area	0,98	0,81	1,13	0,94	1,03	0,71	0,78	0,97	0,97	0,48	0,39
Pekin — misa S/S basin	0,63	0,46	0,43	0,52	0,68	0,83	1,22	0,58	1,00	0,49	0,44
Pekin — misa E/E basin	0,77	0,67	0,57	0,55	0,77	0,48	0,67	0,61	0,98	0,63	0,55
Pekin — misa W/W basin	0,50	0,57	0,41	0,35	0,76	0,40	0,77	0,77	0,46	0,69	0,61
Makoszowy Niecka	0,40	0,11	0,12	0,56	0,93	0,73	0,90	0,50	0,59	0,79	0,44
Makoszowy Las	0,03	-0,44	0,17	-0,40	0,87	-0,07	0,00	0,41	0,33	0,41	-0,11
Przy Leśnej	1,87	1,48	1,45	0,31	0,80	0,63	0,26	0,42	0,53	0,57	1,40
Przeczycze — stawy/ Przeczycze ponds	0,69	0,69	0,44	0,07	0,72	0,17	0,38	0,45	0,52	0,48	0,19
Sławków	0,99	0,61	0,53	0,01	0,55	0,01	-0,18	0,34	0,34	0,17	0,46
Kradziejówka	-0,37	-0,12	-0,29	0,02	0,68	0,13	0,11	0,45	0,39	0,50	0,20
Wielikąt	-0,52	-0,31	-0,69	0,12	0,79	0,29	0,16	0,51	0,63	0,72	0,10
Łęczczok	0,14	-0,27	0,03	0,17	0,77	0,61	0,88	0,60	0,55	0,66	0,52
Ostroznica	0,64	0,62	0,62	-0,07	0,60	0,16	0,37	0,78	0,43	0,36	0,22
Harmęże	-0,34	-0,23	-0,49	0,09	0,96	0,48	0,43	0,50	0,36	0,76	0,05
Przetok	1,09	0,72	0,59	0,43	0,64	0,36	0,18	0,41	0,99	0,38	0,60

Nieco dokładniejsze spektrum zanieczyszczenia osadów zbiorników wodnych uzyskano z analizy wartości wskaźnika krotności przekroczenia regionalnego tła geochemicznego (I_{RE}) danego pierwiastka śladowego (tab. 8). Wskaźnik ten wyraża się wartością niemianowaną, oznaczającą koncentrację pierwiastków śladowych w osadach dennych, która określa krotność przekroczenia tła geochemicznego. Przyjmuje on wartość powyżej jedności tym wyższą, im większe jest stężenie pierwiastka od tła geochemicznego. Może też przyjmować wartość poniżej jedności, gdy koncentracja danego pierwiastka w osadach jest mniejsza od tła geochemicznego.

Tabela 8. Wartości wskaźnika krotności przekroczenia regionalnego tła geochemicznego (I_{RE}) obliczone dla pierwiastków śladowych w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego

Table 8. Ratios of measured values to the regional geochemical background (I_{RE}) calculated for trace elements in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region

Charakterystyka/ Characteristics	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co	Ba	Sr	V	As
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dzierżno Duże	2,9	2,1	3,0	6,9	11,7	4,4	5,2	17,1	8,8	1,7	3,3
Dzierżno Małe	1,4	1,2	1,0	1,5	6,9	2,1	3,5	4,5	13,1	1,0	2,1
Pogoria I	4,9	4,1	6,1	2,9	14,7	4,5	5,5	6,9	4,4	1,6	3,2
Pogoria II	2,4	7,7	3,4	1,5	9,7	1,5	1,8	3,8	3,8	1,5	3,1
Pogoria III	1,9	2,8	1,7	2,1	11,8	3,8	4,8	5,2	4,7	1,5	2,9
Czechło	5,5	8,4	7,2	4,7	9,9	4,5	5,5	195,9	20,7	3,5	7,0
Stawiki	29,2	28,1	31,4	9,3	17,9	4,7	8,5	4,8	8,1	5,7	11,4
Morawa	94,8	47,5	47,6	16,7	18,6	9,6	9,3	7,9	7,5	10,0	20,0
Hubertus I	135,9	53,0	143,6	18,1	11,8	11,7	17,4	5,9	10,1	27,1	54,3
Gliniak	87,3	44,4	91,6	17,3	15,0	6,4	7,6	6,0	6,7	13,8	27,5
Hubertus II	9,6	2,2	5,2	3,3	8,4	3,4	5,6	18,4	43,2	1,2	2,3
Borki	9,0	27,9	11,3	3,1	12,4	3,2	3,9	5,3	4,2	2,9	5,8
Borki Małe	13,3	39,7	15,9	6,5	18,3	5,3	8,3	4,9	4,5	6,6	13,2
Sosina	6,4	4,7	7,0	3,2	12,3	5,9	7,6	4,1	8,3	1,8	3,6
Pławniowice	0,7	0,6	0,7	1,3	5,0	1,6	2,3	3,7	10,5	1,5	2,9
Mały Zalew	4,0	1,0	5,8	2,0	6,8	3,4	4,8	4,6	5,8	2,7	5,3
Rogoźnik (wschodni/ east)	3,9	4,2	5,5	1,1	6,1	1,5	2,0	4,2	4,5	1,7	3,3
Rogoźnik I (środkowy/ middle)	3,1	7,0	8,5	1,5	8,0	1,9	3,0	6,6	5,3	2,7	5,3
Rogoźnik (zachodni/ west)	1,7	3,9	4,8	0,9	6,1	1,1	1,5	4,2	5,9	1,2	2,3
Balaton	3,9	2,4	4,8	1,5	13,8	2,9	3,8	4,4	3,8	1,1	2,2
Czeladź Norwida	4,9	5,4	5,0	2,3	8,2	2,3	2,8	4,8	4,4	2,0	4,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Milicyjny	1,7	0,6	1,6	0,9	8,2	2,4	2,5	4,6	4,8	0,8	1,5
Mały	11,6	2,7	13,3	2,8	9,3	3,8	3,8	4,9	7,0	2,1	4,2
Kajakowy	14,9	10,0	19,1	5,2	12,8	6,4	6,5	6,7	5,0	5,9	11,8
Łąka	31,7	13,5	26,6	8,3	10,4	12,9	20,3	5,1	4,8	10,2	20,3
Ozdobny	6,4	5,9	5,0	8,3	12,2	4,0	3,5	6,9	7,2	2,8	5,7
Kazimierz	4,8	4,0	5,1	2,8	14,1	3,4	3,8	4,3	4,5	1,7	3,3
Gliniok	1,0	1,9	0,5	3,3	13,1	6,4	8,5	7,0	8,0	1,4	2,8
Koparki	4,3	2,8	2,5	1,2	2,5	1,1	0,8	2,7	2,7	4,7	9,4
Amendy	5,8	5,1	5,7	7,7	17,7	4,7	4,3	7,5	7,2	2,5	5,0
Brzeziny	145,6	56,6	224,0	7,4	6,8	3,4	3,5	5,7	13,0	24,0	48,0
Kozłowa Góra	6,6	8,0	7,1	4,0	8,1	2,4	4,0	10,9	4,1	3,4	6,8
Przezyce	5,6	9,0	5,2	2,4	9,2	2,5	3,8	5,4	4,5	2,6	5,2
Paprocany	2,9	1,2	2,4	1,8	15,5	3,9	8,1	6,1	5,0	3,0	5,9
Żabie Doły	13,9	16,2	12,6	4,2	8,7	3,6	4,5	7,8	8,0	5,2	10,4
Bobrek — rozlewisko/ inundated area	14,4	9,6	20,1	13,1	16,2	7,7	9,0	14,1	14,0	1,8	3,7
Pekin — misa S/ S basin	6,4	4,3	4,1	4,9	7,1	10,1	24,8	5,7	15,0	2,1	4,2
Pekin — misa E/ E basin	8,9	6,9	5,6	5,3	8,9	4,5	7,0	6,1	14,3	2,7	5,3
Pekin — misa W/ W basin	4,8	5,6	3,9	3,3	8,6	3,7	8,8	8,8	4,3	3,1	6,2
Makoszowy Niecka	3,8	1,9	2,0	5,5	12,7	8,1	12,0	4,8	5,8	2,1	4,2
Makoszowy Las	1,6	0,5	2,2	0,6	11,1	1,3	1,5	3,9	3,2	0,6	1,2
Przy Leśnej	110,0	45,4	42,4	3,1	9,6	6,5	2,8	3,9	5,1	18,9	37,8
Przezyce — stawy/ Przezyce ponds	7,3	7,4	4,1	1,8	7,9	2,2	3,6	4,2	5,0	1,2	2,3
Sławków	14,7	6,1	5,1	1,5	5,3	1,5	1,0	3,3	3,3	2,2	4,3
Kradziejówka	0,6	1,1	0,8	1,6	7,3	2,0	1,9	4,2	3,7	1,2	2,4
Wielikąt	0,4	0,7	0,3	2,0	9,3	2,9	2,2	4,8	6,3	0,9	1,9
Łęczczok	2,1	0,8	1,6	2,2	8,9	6,1	11,5	6,0	5,3	2,5	5,0
Ostrożnica	6,5	6,2	6,3	1,3	6,0	2,2	3,5	9,1	4,0	1,3	2,5
Harmęże	0,7	0,9	0,5	1,9	13,7	4,5	4,0	4,7	3,5	0,8	1,7
Przetok	18,3	7,9	5,8	4,1	6,6	3,5	2,3	3,9	14,7	3,0	6,0

W przypadku rozpatrywanych osadów wartość wskaźnika przekroczenia tła geochemicznego waha się w granicach 0,4—145,6 dla cynku, 0,5—56,6 dla ołowiu, 0,3—224,0 dla kadmu, 0,6—18,1 dla miedzi, 2,5—18,6 dla chromu, 1,1—12,9 dla niklu, 0,8—24,8 dla kobaltu, 2,7—195,9 dla baru, 2,7—43,2 dla strontu i 0,6—27,1 dla wanadu oraz 1,2—54,3 dla arsenu (tab. 8). O ile brak przekroczenia tła geo-

chemicznego zdarza się raczej sporadycznie (dla: Pb — 7 razy, Cd — pięciokrotnie, Zn i V — po 4 razy, dla Cu w 3 zbiornikach i dla Co w jednym przypadku), o tyle nie są rzadkością przekroczenia kilkunasto- czy kilkudziesięciokrotne, a kilka razy zdarzają się nawet ponadstukrotne.

Przyczyn zróżnicowania zawartości pierwiastków śladowych w osadach dennych między poszczególnymi zbiornikami wodnymi — poza naturalnymi uwarunkowaniami utożsamianymi głównie z budową geologiczną — należy upatrywać przede wszystkim w antropopresji, której wyrazem, ogólnie rzecz ujmując, może być użytkowanie zlewni czy też zanieczyszczenie powietrza.

Dobrze pokazuje to przykład zbiorników wodnych położonych w sąsiedztwie terenów związanych z hutnictwem metali nieżelaznych (np. Hubertus I i II, Morawa, Stawiki, Gliniak, Brzeziny). Są to akwenty o najwyższych średnich stężeniach toksycznych metali ciężkich w osadach dennych. Misy tych akwenów mają kontakt z odpadami przerobczymi hutnictwa rud cynku i ołowiu, a ich zlewnie własne są silnie przekształcone przez człowieka. Świadczą o tym antropogeniczne zmiany środowiska w ich otoczeniu. A.T. Jankowski i in. (2002) piszą o występowaniu tzw. pustyni cynkowej w sąsiedztwie zbiorników wodnych na pograniczu Sosnowca i Katowic, położonych w pobliżu huty metali nieżelaznych.

Generalnie najniższe stężenia pierwiastków śladowych występują w trzech zbiornikach: Makoszowy Las (Pb, Cu, V, As), Koparki (Cr, Ni, Co, Ba, Sr), Wielikąt (Zn, Cd). Są to akwenty skutecznie izolowane przed masowym dopływem zanieczyszczeń.

Wiele zbiorników wodnych charakteryzuje się pośrednim — w stosunku do wspomnianych ekstremów — poziomem zanieczyszczenia metalami ciężkimi, których koncentracja w osadach dennych przekracza tło geochemiczne — uogólniając — kilkakrotnie lub kilkunastokrotnie. W tej grupie znajduje się większość badanych zbiorników wodnych. Są to zbiorniki położone w strefie dość silnych oddziaływań antropogenicznych. Tym niemniej, w kształtowaniu koncentracji metali ciężkich w osadach dennych dużą rolę odgrywają uwarunkowania lokalne, a zwłaszcza użytkowanie terenu. Przykładem takich uwarunkowań, mających odzwierciedlenie w stężeniu pierwiastków śladowych, jest zróżnicowany charakter użytkowania zlewni zbiorników wodnych Sosina i Balaton. Pierwszy z nich funkcjonuje w zlewni o powierzchni 2,5 km², z czego 15,9% stanowią wody, 1,2% przypada na obszary zurbanizowane, 72,2% to lasy, a 10,6% — grunty rolne. Drugi ze zbiorników znajduje się w zlewni o powierzchni 0,9 km², w której 9,8% stanowią wody, 29,3% przypada na obszary zurbanizowane, 60,9% to lasy, a grunty rolne nie występują.

Wyniki badań wskazują także na istotną rolę, jaką w kształtowaniu stężenia metali w osadach dennych odgrywa kaskadowe położenie zbiorników wodnych wzdłuż cieków. Zwykle osady pierwszego akwenu kaskadowej zabudowy potoku są w największym stopniu zanieczyszczone metalami, natomiast ostatni zbiornik charakteryzuje się niższym ich stężeniem, np. w kompleksach zbiorników Pogoria i Rogoźnik. Inną zmienność uwarunkowań wzdłuż cieków można śledzić w zbiornikach w zlewni Potoku Leśnego. W tej zlewni pierwszy obiekt kaskadowej zabudowy potoku jest zanieczyszczony pierwiastkami śladowymi w najmniejszym stopniu,

natomiast każdy kolejny akwen charakteryzuje się wyższym ich stężeniem. Wyjaśnienia tej sytuacji można szukać między innymi w dostawie zanieczyszczeń wraz z wodami deszczowymi i roztopowymi, pochodzącymi z dawnego (współcześnie szcztątkowego) odwodnienia tras komunikacyjnych, a także migracji zanieczyszczeń z terenów składowania odpadów hutnictwa metali nieżelaznych (Molenda, 2001; Jankowski i in., 2002).

O wpływie uwarunkowań lokalnych na kształtowanie stężenia toksycznych metali w osadach dennych świadczy przykład acidyfikacji zbiornika Chechło, w którym zakwaszenie środowiska wpływa na mobilność metali i obniżone możliwości ich kumulacji w osadach, mimo położenia zbiornika w sąsiedztwie ośrodka hutnictwa metali nieżelaznych. Stężenie pierwiastków śladowych wyraźnie kontrastuje z raczej niższą ich koncentracją w innych zbiornikach o podobnym litologicznie podłożu misy (np. Pławniowice, Rogoźnik). Podobnie nie pozostaje bez wpływu na koncentrację metali w osadach dennych duża ilość materii organicznej w zbiorniku Dzierżno Duże, który zasilają wody Kłodnicy z silnie zurbanizowanej i uprzemysłowionej zlewni o powierzchni 542,5 km².

Rolę uwarunkowań lokalnych w kształtowaniu koncentracji pierwiastków śladowych uwypukla przykład zanieczyszczenia osadów dennych 20 akwenów o takiej samej genezie. Są to zbiorniki zajmujące wyrobiska w złożach piasku, który był pozyskiwany przede wszystkim na potrzeby tzw. podsadzki w kopalniach węgla kamiennego. Podobieństwo obiektów badań wynika więc ze zbliżonego litologicznie materiału otoczenia misy. Jest to bardzo istotne dla porównania poziomu zanieczyszczenia pierwiastkami śladowymi. W osadach dennych tych zbiorników występują toksyczne metale w ilości: 181,7—35200,0 ppm — cynk, 33,3—1648,8 ppm — ołów, 1,8—359 ppm — kadm, 14,0—271,5 ppm — miedź, 45,3—167,5 ppm — chrom, 12—142,0 ppm — nikiel. W osadach zalegających w sąsiedztwie badanych zbiorników wodnych (tj. osadach utożsamianych z podłożem mis tych zbiorników) stwierdzono zawartość pierwiastków śladowych w ilości: 42,0—387,0 mg/kg — cynk, 17,0—67,0 mg/kg — ołów, 0,5—2,0 mg/kg — kadm, 10,0—48,0 mg/kg — miedź, 64,0—155,0 mg/kg — chrom, 12,0—59,0 mg/kg — nikiel, 4,0—20,0 mg/kg — kobalt, 392,0—591,0 mg/kg — bar, 71,0—97,0 mg/kg — stront, 39,0—109,0 mg/kg — wanad, 6,0—66,0 mg/kg — arsen. Z kolei średnie stężenia pierwiastków śladowych w osadach podłoża (otoczenia) mis tych zbiorników wodnych wynoszą: 121,3 mg/kg — Zn, 31,8 mg/kg — Pb, 0,9 mg/kg — Cd, 14,6 mg/kg — Cu, 85,8 mg/kg — Cr, 17,5 mg/kg — Ni, 6,3 mg/kg — Co, 472,3 mg/kg — Ba, 85,9 mg/kg — Sr, 49,0 mg/kg — V i 12,3 mg/kg — As. Zróżnicowanie zawartości poszczególnych pierwiastków śladowych w piaszczystych utworach można tłumaczyć ich lokalną odrębnością, chociaż nie można również wykluczyć wpływów o charakterze antropogenicznym.

Daje się zauważyć wyższą koncentrację pierwiastków śladowych w osadach dennych zbiorników wodnych w stosunku do osadów podłoża (otoczenia) ich mis. Wskaźnik wzbogacenia antropogenicznego osadów (I_{AP}) w pierwiastki śladowe waha się w granicach 2,1—338,5 dla cynku, 1,4—115,7 dla ołowiu, 1,7—718,0 dla kadmu, 0,9—24,7 dla miedzi, 0,5—2,6 dla chromu, 0,8—10,7 dla niklu, 0,8—17,4

dla kobaltu, 0,7—36,0 dla baru, 1,0—11,9 dla strontu, 0,6—32,0 dla wanadu oraz 0,5—54,3 dla arsenu (tab. 9). Wskaźnik ten przyjmuje wartość poniżej 1,0 ($I_{AP} < 1,0$),

Tabela 9. Wartości wskaźnika wzbogacenia antropogenicznego (I_{AP}) pierwiastkami śladowymi osadów dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego

Table 9. Anthropogenic enrichment factor values (I_{AP}) for trace elements in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region

Nazwa zbiornika Water body name	Zn	Pb	Cd	Cu	Cr	Ni	Co	Ba	Sr	V	As
	wartość niemianowana / dimensionless number										
Dzierżno Duże	4,2	2,5	5,1	4,7	1,1	2,5	3,5	2,8	2,2	1,5	0,8
Dzierżno Małe	2,1	1,4	1,7	1,0	0,6	1,2	2,3	0,7	3,3	1,0	0,5
Pogoria I	17,7	7,3	30,5	4,4	1,1	3,1	4,4	1,7	1,3	2,5	1,8
Pogoria II	8,5	13,8	17,1	2,3	0,7	1,1	1,4	0,9	1,1	1,3	1,7
Pogoria III	6,7	4,9	8,7	3,1	0,9	2,6	3,8	1,3	1,3	1,9	1,6
Czechło	3,7	7,4	9,0	1,5	0,6	0,8	1,1	36,0	7,0	0,7	0,6
Stawiki	72,8	61,5	156,8	12,7	2,5	4,3	8,5	0,9	2,2	2,0	11,4
Morawa	236,1	103,7	238,0	22,8	2,6	8,8	9,3	1,5	2,1	3,2	20,0
Hubertus I	338,5	115,7	718,0	24,7	1,7	10,7	17,4	1,1	2,8	1,8	54,3
Gliniak	217,3	97,0	458,0	23,6	2,1	5,8	7,6	1,2	1,8	2,6	27,5
Hubertus II	23,9	4,9	26,2	4,5	1,2	3,1	5,6	3,6	11,9	1,9	2,3
Borki	22,4	60,9	56,7	4,3	1,8	2,9	3,9	1,0	1,2	1,8	5,8
Borki Małe	33,1	86,7	79,6	8,9	2,6	4,8	8,3	1,0	1,2	2,0	13,2
Sosina	16,0	10,3	35,1	4,3	1,7	5,4	7,6	0,8	2,3	2,0	3,6
Pławniowice	4,3	2,0	3,7	1,5	0,5	0,9	0,8	0,9	2,8	0,6	2,5
Mały Zalew	24,5	3,4	28,8	2,3	0,7	1,8	1,6	1,1	1,6	1,1	4,6
Rogoźnik (wschodni/ east)	6,7	8,0	7,2	1,1	0,6	0,9	1,3	1,0	1,3	0,8	2,2
Rogoźnik I (środkowy/ middle)	5,3	13,4	11,2	1,5	0,8	1,2	2,0	1,6	1,6	1,0	3,6
Rogoźnik (zachodni/ west)	2,9	7,5	6,3	0,9	0,6	0,7	1,0	1,0	1,7	0,7	1,6
Balaton	9,8	5,1	24,2	2,0	1,9	2,7	3,8	0,8	1,0	1,3	2,2

jeśli stężenie pierwiastka w osadach jest niższe od jego stężenia w utworach otoczenia misy i powyżej 1,0 ($I_{AP} > 1,0$) tym wyższą, im wyższe jest stężenie pierwiastka w osadach dennych od stężenia w utworach otoczenia misy. Wskaźnik wzbogacenia antropogenicznego osadów świadczy pośrednio o skuteczności akumulacyjnej materii w zbiorniku, niejednokrotnie utożsamianej z zanieczyszczeniem. Z tego wynika, że w osadzie dennym pierwiastki śladowe występują w stężeniu zazwyczaj wyższym od zawartości w osadach podłoża. Brak wzbogacenia antropogenicznego osadów dennych w te pierwiastki występuje raczej sporadycznie (w dziewięciu zbiornikach w przypadku chromu, siedmiu w przypadku baru, czterech w przypadku niklu

i wanadu, trzech — arsenu, jednym — miedzi, podobnie jak kobaltu). Zdecydowanie dominują przypadki kilkakrotnego wzbogacenia osadów dennych w pierwiastki śladowe (ponad 50% zbiorników w przypadku każdego pierwiastka z wyjątkiem Cd, który reprezentuje większą krotność). Wzbogacenie antropogeniczne osadów dennych w pierwiastki śladowe na poziomie kilkunasto- czy kilkudziesięciokrotności dotyczy osadów dennych 9 zbiorników w przypadku kadmu, 7 akwenów w przypadku cynku i tyle samo w odniesieniu do ołowiu, pięciu — arsenu, czterech — miedzi, a także pojedynczych akwenów w przypadku: niklu, kobaltu, baru i strontu. Wzbogacenie osadów dennych na poziomie większym od stukrotności dotyczy czterech zbiorników w przypadku kadmu, trzech — cynku i dwóch — ołowiu.

Porównanie stężenia pierwiastków śladowych w osadach dennych ze stężeniem w utworach otoczenia misy wskazuje na istnienie pewnego problemu ekologicznego. W osadach dennych kumulowane są metale ciężkie (w tym toksyczne metale) w ilościach wielokrotnie wyższych od naturalnej zawartości na danym terenie. Tym samym zbiorniki spełniają funkcje lokalnych basenów sedymentacyjnych, w których kumulują się zanieczyszczenia pochodzenia autochtonicznego, jak również tranzytowego (allochtonicznego).

Gromadzenie metali ciężkich, w tym toksycznych metali, w osadach dennych zbiorników wodnych, zwłaszcza pełniących rolę bezodpływowych basenów sedymentacyjnych (zbiorniki: Borki, Borki Małe, Stawiki, Morawa, Hubertus I, Gliniak, Hubertus II) jest problemem ekologicznym zarówno przyrodniczym, jak i społecznym. Wystarczy wspomnieć, za A.T. Jankowskim i in. (2002), dużą śmiertelność linów w zbiorniku Hubertus lub likwidację populacji węgorzy w zbiorniku Morawa, gdzie za prawdopodobną przyczynę tych zdarzeń uznaje się właśnie zanieczyszczenie metalami ciężkimi. Jest to zgodne z opinią M. Kosteckiego (2007), który stwierdza, że zanieczyszczenie metalami ciężkimi niektórych ekosystemów wodnych już obecnie stwarza zagrożenie dla zdrowia ludzi, a w fito- i zooplanktonie, roślinności naczyniowej oraz ichtiofaunie rejestrowane stężenia mają charakter skażenia.

Miejscową koncentrację metali ciężkich w osadach dennych można traktować jako przejaw oczyszczania wód w przypadku zbiorników przepływowych, lecz problemem ekologicznym jest transpozycja zanieczyszczenia wzdłuż cieków na tereny, na których wcześniej takowe zanieczyszczenie nie występowało. Klasycznym przykładem takiego przypadku jest zbiornik Dzierżno Duże, który kumuluje w osadach zanieczyszczenia z oddalonych terenów miejsko-przemysłowych.

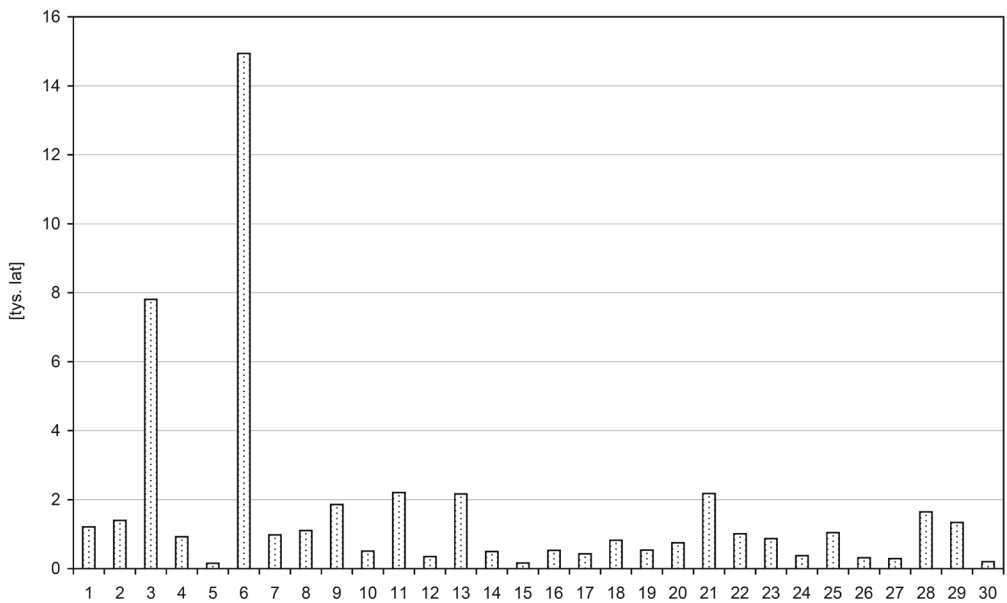
5.5. Próba oszacowania żywotności zbiorników wodnych

Mianem załadowienia określa się całokształt procesów geomorfologicznych prowadzących do stopniowego zmniejszania się pojemności zbiornika, a w efekcie jego sukcesywnego wypłykania i całkowitego wypełnienia osadami. O ile utrata

zdolności eksploatacyjnych zbiorników wodnych, następująca umownie wraz z załadowaniem w 80% pojemności początkowej akwenu z gospodarczego punktu widzenia jest istotna (Łajczak, 1986, 1995), o tyle w aspekcie przyrodniczym bardziej przydatne wydają się szacunki całkowitego czasu funkcjonowania śródlądowych zbiorników wodnych, tzn. do ich całkowitego wypłyenia. Udział w postępującym zamuleniu misy jeziornej mają nie tylko procesy sedymentacji materiału dostarczanego przez dopływy, ale także akumulacja materiału pochodzącego z atmosfery oraz wzrost żyzności wód i masowy rozwój roślinności przybrzeżnej. W późnym stadium rozwoju misy procesy te zastępują procesy abrazyjne wybrzeży, charakterystyczne dla stadiów początkowych morfologicznej ewolucji zbiorników wodnych. Ekwiwalentem skuteczności akumulacyjnej wszystkich procesów są pokrywy osadów dennych w misach zbiorników wodnych. Są one potencjalnym źródłem informacji na temat czasu funkcjonowania akwenu

Biorąc pod uwagę obecne tempo wypełniania osadami mis omawianych zbiorników wodnych, można obliczyć przybliżony czas ich funkcjonowania, przy założeniu względnej stałości uwarunkowań środowiskowych, a także nieograniczony czas funkcjonowania urządzeń piętrzących w przypadku zbiorników zaporowych i groblowych. Dlatego podane wartości należy uznać za potencjalne. Uzyskane wyniki obliczeń wskaźnika przybliżonego czasu funkcjonowania zbiorników wodnych (ATO_{WR}), sugerują zróżnicowany okres ich przyrodniczej egzystencji (rys. 50). Jest ona uzależniona od wielu czynników, m.in. od pojemności i kształtu zbiorników oraz wielkości zasilania determinującego ilość materiału wypełniającego misę. Czas funkcjonowania większości badanych sztucznych zbiorników, ze względu na ich niewielkie rozmiary, wynosi kilkaset lat (np. Pogoria II, Hubertus I i II, Borki Małe, Sosina). Czas potencjalnego funkcjonowania większych zbiorników mieści się zasadniczo w dolnej strefie przedziału najczęstszych żywotności (10^3 — 10^4 lat) podawanych przez A. Łajczaka (1995) dla zbiorników karpaccich i sudeckich. Wyjątek stanowią nieliczne zbiorniki o stosunkowo dużej pojemności, usytuowane w niewielkich zlewniach, które jako jeziora mogą trwać nawet kilkanaście tysięcy lat (np. Pogoria III). Są i takie zbiorniki, których funkcjonowanie określa się na kilkadziesiąt lat. Tempo wypełniania osadami niektórych zbiorników (Paprocany, Stawiki, Dzierżno Duże) jest na tyle duże, że w okresie ich funkcjonowania prowadzono już prace odmulające. Odmienne przedstawia się sprawa większości zbiorników wodnych o niewielkich pojemnościach, np. zbiorników w nieckach osiadania. Ich czas przyrodniczej egzystencji jest znacznie krótszy, a głównym czynnikiem decydującym o tempie zaniku — wobec często występującej bezodpływowości — będą prawdopodobnie procesy związane z zarastaniem. Niewątpliwie wydłużeniu czasu funkcjonowania zbiorników wodnych sprzyja prowadzenie prac bagrowniczych lub odmulających. Niektóre obiekty już zaniknęły lub zostały zlikwidowane w wyniku zabiegów hydrotechnicznych, prac regulacyjnych i melioracyjnych.

W odniesieniu do sztucznych zbiorników wodnych innych niż górnośląsko-zagłębiowskie, istnieje stosunkowo wiele prac poruszających problem ich żywotności. Są to zazwyczaj zbiorniki zaporowe, które już na etapie projektowym mają ściśle określone funkcje użytkowe (Głodek, 1985; Kasza, 2009). Czas egzystencji



Rys. 50. Przybliżony czasu funkcjonowania (żywołność) wybranych zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim:

1 – Dzierżno Duże, 2 – Dzierżno Małe, 3 – Pławniowice, 4 – Pogoria I, 5 – Pogoria II, 6 – Pogoria III, 7 – Chechło, 8 – Stawiki, 9 – Morawa, 10 – Hubertus I, 11 – Gliniak, 12 – Hubertus II, 13 – Borki, 14 – Borki Małe, 15 – Sosina, 16 – Mały Zalew, 17 – Rogoźnik I (środkowy), 18 – Rogoźnik (zachodni), 19 – Balaton, 20 – Czeladź Norwida, 21 – Kazimierz, 22 – Kozłowa Góra, 23 – Przeczyce, 24 – Paprocany, 25 – Przetok, 26 – Milicyjny, 27 – Mały, 28 – Kajakowy, 29 – Łąka, 30 – Ozdobny.

Fig. 50. Estimated lifetime (longevity) of selected water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region:

1 – Dzierżno Duże, 2 – Dzierżno Małe, 3 – Pławniowice, 4 – Pogoria I, 5 – Pogoria II, 6 – Pogoria III, 7 – Chechło, 8 – Stawiki, 9 – Morawa, 10 – Hubertus I, 11 – Gliniak, 12 – Hubertus II, 13 – Borki, 14 – Borki Małe, 15 – Sosina, 16 – Mały Zalew, 17 – Rogoźnik I (middle), 18 – Rogoźnik (west), 19 – Balaton, 20 – Czeladź Norwida, 21 – Kazimierz, 22 – Kozłowa Góra, 23 – Przeczyce, 24 – Paprocany, 25 – Przetok, 26 – Milicyjny, 27 – Mały, 28 – Kajakowy, 29 – Łąka, 30 – Ozdobny.

sztucznego jeziora Poraj na Warcie jest szacowany na około 650 lat (Jaguś, Rzętała, 2000). Z kolei żywotność zbiornika Sulejowskiego, którego pojemność zmniejszyła się o około 7% po 20 latach eksploatacji (Galicka, 1996), można szacować na około 300 lat. Oddany do użytku w 1933 roku zbiornik Otmuchów, przy założeniu rocznego zamulania wynoszącego 0,3 mln m³, tj. 0,2% pojemności masy pierwotnie wynoszącej 143 mln m³, będzie funkcjonował około 480 lat (Grochulski, 1980). Przy założeniu liniowego przebiegu wypełniania osadami oszacowana żywotność wynosi (Grochulski, 1980): 5,2 tys. lat dla zbiornika Turawa na Małej Panwi oraz nieco ponad 50 lat dla zbiornika Pilchowice na Bobrze, 180 lat dla zbiornika Porąbka, blisko 120 lat dla zbiornika Rożnowskiego na Dunajcu. Wydaje się jednak, że w przypadku zbiornika Porąbka — którego czas użytkowania pierwotnie oceniano na 120 lat (Mastyński, 1987) — nie uwzględniono wpływu oddanego do eksploatacji w 1966 roku zbiornika Żywieckiego. Odmienne oszacowania przytacza A. Łajczak (1995) dla zbiornika Rożnów — 320 lat, na podstawie danych z bilansu transportu materiału

klastycznego i 260 lat bazując na powtarzalnej niwelacji misy. Według A. Łajczaka (1995), czasy egzystencji zbiorników sięgające setek lat mają obiekty Dobczyce na Rabie i Tresna na Sole (ponad 600 lat) oraz Czorsztyn na Dunajcu (około 800 lat), a żywotność niektórych można szacować w tysiącach lat (Krempna na Wisłoce — 11 tys. lat, Klimkówka na Ropie — 10 tys. lat, Solina na Sanie — około 9 tys. lat). Duże różnice w ocenie żywotności zbiorników są konsekwencją szacunków opartych na prostoliniowym przebiegu zamulania, które dawniej podawano w literaturze. Bardziej bliskie rzeczywistości są oceny oparte na krzywoliniowym przebiegu zamulania, co uwzględnił A. Łajczak (1995). Uwzględniając oszcowania czasu funkcjonowania zbiorników wodnych jako wielkość teoretyczną można zauważyć zbieżność tych danych z podawanymi przez A. Choińskiego (1995) szacunkami perspektywicznego wieku większości naturalnych jezior w Polsce, które funkcjonują już co najmniej kilka tysięcy lat. Szacunki te wynoszą od kilkaset lat do 2—3 tys. lat. Oczywiście A. Choiński (1995) nie wyklucza zaniku niektórych jezior w ciągu kilkudziesięciu lub kilkuset lat, wiążąc to m.in. z wahaniami stanów wody, które sprzyjają zanikom obiektów o niewielkich średnich głębokościach.

6. Podsumowanie i wnioski

W regionie górnośląsko-zagłębiowskim występują liczne zbiorniki wodne antropogenicznego pochodzenia. 53 z tych zbiorników zostało poddanych badaniom geomorfologicznym i ekologicznym. Wiek tych zbiorników zawiera się w zakresie od kilku lat do około 150 lat, przy średniej około 60 lat. Stanowią one reprezentatywną próbę wszystkich obiektów tworzących badane pojezierze antropogeniczne. Zróżnicowanie: genetyczne, morfometryczne, hydrochemiczne i zlewniowe zbiorników wodnych stwarza możliwość prowadzenia badań o unikalnym charakterze, co wynika ze specyfiki przemian geomorfologicznych ich mis, dokumentujących spontaniczną reakcję przyrody na proces antropogenizacji rzeźby, w sytuacji zróżnicowanego, lecz stałego wpływu antropopresji na środowisko przyrodnicze. Na tle antropogenicznych zbiorników wodnych na świecie przemiany geomorfologiczne i geoekologiczne zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim należy rozpatrywać w kategoriach mikroskalowych, odniesionych do specyficznych warunków „laboratorium terenowego”. Przeprowadzone badania nad przemianami geomorfologicznymi i geoekologicznymi zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim upoważniają do następujących konkluzji.

1. O przemianach geomorfologicznych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego decydują uwarunkowania: geologiczne (zwłaszcza litologiczne), geomorfologiczne, meteorologiczne, hydrologiczne (w tym związane z reżimem eksploatacji zbiorników), glebowe i biogeniczne oraz społeczno-gospodarcze. Każdy rodzaj uwarunkowań wykazuje specyfikę regionalnego oddziaływania utożsamianego z:
 - lokalizacją mis zbiornikowych w obrębie czwartorzędowych utworów powierzchniowych (rzadziej triasowych i karbońskich); powszechny jest także wpływ allochtonicznych utworów starszego podłoża (np. karbońskich, triasowych), deponowanych na powierzchni terenu w wyniku działalności górniczej, rozprzestrzeniających się na obszary, gdzie nigdy wcześniej nie występowały;
 - funkcjonowaniem mis w warunkach dynamicznych zmian bazy erozyjnej i antropogenicznie stymulowanej dostawy rumowiska, powodowanych od-

- działywaniami antropopresji, przy drugorzędnym znaczeniu rzeźb krawędziowej i zrębowej występujących na badanym obszarze;
- oddziaływaniem na wodę zretencjonowaną w zbiornikach warunków meteorologicznych typowych dla odmiany przejściowej strefy klimatu umiarkowanego ciepłego z nakładającymi się konsekwencjami antropogenicznych zmian ilościowo-jakościowych w atmosferze (np. zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego);
 - antropogenicznymi zmianami stosunków wodnych, których wyrazem jest zaburzenie sezonowej zmienności dopływu i odpływu wody, jej zanieczyszczenie oraz wahania stanów wody sięgające w niektórych zbiornikach 10 m;
 - zasobnością środowiska glebowego i wodnego w substancje pożywkowe, co sprzyja zaawansowanej eutrofizacji wód i rozwojowi roślinności;
 - trwającym kilka wieków rozwojem przemysłu wydobywczego i przetwórczego, procesami urbanizacyjnymi i napływem ludności, skutkującymi gęstością zaludnienia, która w centralnej części konurbacji katowickiej osiąga około 4 tys. os./km².
2. Strefy sedimentacji materiału mineralnego i sedimentacji biomasy roślinnej, czyli w postaci delt bądź powierzchni akumulacyjnych o charakterze pokryw osadów dennych, dokumentują proces samooczyszczania wód płynących, odciążanych z ładunku materiału, który ulega akumulacji. Deltę stanowią najbardziej jaskrawy przykład spontanicznej adaptacji biotycznej sfery środowiska przyrodniczego do nowych warunków po zmianie lokalnej bazy erozyjnej, wywołanej utworzeniem zbiornika wodnego. Duże tempo sedimentacji powoduje dynamiczny przyrost powierzchni oraz kubatury delt. Spośród wielu delt utworzonych w zbiornikach wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim najbardziej spektakularne rozmiary osiąga delta Kłodnicy w zbiorniku Dzierżno Duże. Miejscami delta ma nawet kilkanaście metrów miąższości i kubaturę około 2 mln m³. Delta ta w porównaniu z innymi formami tego typu na świecie jest również wyjątkowa pod względem składu mechanicznego (komunalny osad ściekowy z osadem węglowym) i chemicznego (wysoka zawartość niektórych toksycznych substancji).
3. Ze względu na intensywnie zachodzące zmiany geomorfologiczne, misy omawianych zbiorników wodnych należy uznać za obiekty sukcesywnie tracące antropogeniczny charakter, które asymilują się z otaczającym terenem, co potwierdza wiele różnorodnych procesów naturalnych, dokumentujących reakcję przyrody na antropogenizację rzeźby. Istotą przemian geomorfologicznych strefy litoralnej zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim jest coraz mniejszy udział brzegów w stadium abrazyjnym, przy zwiększającej się liczbie brzegów w stadiach abrazyjno-akumulacyjnym i akumulacyjnym. Na przewagę procesów akumulacyjnych typowych dla dojrzałego stadium rozwoju strefy litoralnej, mimo niedługiego czasu funkcjonowania zbiorników w środowisku (tj. od kilku lat do około 150 lat, przy średniej około 60 lat), wskazuje ukształtowanie się trzech charakterystycznych typów wybrzeży: abrazyjnego (21,2 km

łącznej długości brzegów, tj. 11,0% ogólnej ich długości), neutralnego (74,6 km, tj. 38,7%) i akumulacyjnego (97,1 km, tj. 50,3%). Znaczącą rolę roślinności w kształtowaniu stadium akumulacyjnego brzegów dokumentuje zarastanie akwenów, którym objęte jest 1,7—80,0% pierwotnej powierzchni wodnej (średnia 21%, mediana 14,3%). Ilość roślinności jest zmienna w ciągu roku i w pełni sezonu wegetacyjnego w obrębie akwenów stanowi 7,1—17,5 kg/m² suchej masy roślin (średnia 10,4 kg/m², mediana 9,9 kg/m²). W przeliczeniu na całkowitą powierzchnię zarastającą w zbiornikach wodnych sucha masa roślinności wynosi, w zależności od zbiornika, 0,008—8,0 tys. ton. Wynika z tego, że udział roślinności w sedentacyjnej dostawie materiału budulcowego osadów dennych, a tym samym w wypełnianiu osadami mis zbiorników wodnych nie był dotychczas należycie doceniany. Roślinność porastająca strefy brzegowe zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim nie wykazuje znaczącego zróżnicowania pod względem zawartych w jej organach mikroelementów (z wyjątkiem niektórych pierwiastków, np. Br, Co, Cr, Na). Ocena taka, dotycząca trzciny pospolitej wykazuje wprawdzie zróżnicowanie ilościowe, jednak w niewielkim stopniu odzwierciedla żyzność środowiska wodnego oraz środowiska zakumulowanych osadów, które stanowią podłoże dla rozwoju roślin.

4. Misy zbiorników wodnych jako miejsce akumulacji materiału budującego osady denne stanowią rodzaj basenów sedymentacyjnych, ukształtowanych w warunkach zmiany bazy erozyjnej, wywołanej antropogenizacją rzeźby terenu. Osady denne są więc dobrym wskaźnikiem cech otaczającego środowiska. Dokumentując rolę naturalnych i antropogenicznych czynników w kształtowaniu ilości, składu granulometrycznego oraz właściwości fizykochemicznych tych osadów można je uznać za doskonały „rejestrator” zjawisk i procesów zachodzących w środowisku geograficznym zlewni i bliskiego otoczenia zbiorników. Podkreśla to również rolę tych osadów jako indykatora zmian ekologicznych oraz czynnika świadczącego o dynamice ewolucji jezior antropogenicznych jako ekosystemów. Efektem procesów sedymentacyjnych i sedentacyjnych w obrębie mis zbiorników wodnych jest powstawanie pokryw osadów dennych o średniej miąższości od 0,2 do 79,9 cm, w zależności od akwenu, przy średniej ich grubości 24,3 cm. Do tych ilości nawiązuje kubatura osadów dennych, wynosząca w poszczególnych zbiornikach od 0,2 tys m³ do 3,9 mln m³.
5. Osady denne zbiorników wodnych pod względem uśrednionego składu mechanicznego odpowiadają glinie ilastej z najmniejszym udziałem przypadającym frakcji pylastej (25,5%), drugą w kolejności frakcją ilastą (29,9%) i największym udziałem ziaren piaszczystych (44,5%). W przypadku poszczególnych akwenów dane te są znacząco zróżnicowane i reprezentują wszystkie grupy osadów, z wyjątkiem gliny pylastej i pyłu. W składzie podstawowym tych osadów oznaczono: SiO₂ (6,83—79,94%), Al₂O₃ (1,24—17,0 8%), Fe₂O₃ (2,07—13,08%), MnO (0,03—0,75%), MgO (0,33—13,30%), CaO (0,43—30,69%), Na₂O (0,05—1,13%), K₂O (0,16—2,49%), TiO₂ (0,06—1,02%), P₂O₅ (0,06—5,28%), S (0,0—4,97%). Straty prażenia badanych próbek osadów wynoszą 4,71—47,71%. Spośród mikroelementów w badanych osadach stwierdzono występowanie: Pb (32—3 340

mg/kg), Zn (116,0—37 700 mg/kg), Cd (0,8—560,0 mg/kg), Cu (9,0—271,5 mg/kg), Cr (22,5—167,5 mg/kg), Ni (12,0—142,0 mg/kg), Co (3,0—99,0 mg/kg), Ba (261,5—19 200,0 mg/kg), Be (1,0—8,0 mg/kg), Sr (64,0—1037,5 mg/kg), Ce (7,0—241,0 mg/kg), Eu (0,6—2,3 mg/kg), Nd (9,0—53,3 mg/kg), Sm (0,5—9,8 mg/kg), Hf (2,2—36,0 mg/kg), Zr (36,0—1822,0 mg/kg), La (3,5—69,1 mg/kg), V (12,5—152,0 mg/kg), Sc (1,3—18,6 mg/kg), Y (4,0—51,3 mg/kg), Th (1,1—20,4 mg/kg), U (1,5—6,6 mg/kg), Cs (1,8—134,0 mg/kg), Rb (20,5—160,0 mg/kg), As (7,0—325,5 mg/kg), Sb (0,9—69,8 mg/kg), Br (2,0—90,0 mg/kg).

- Do głównych problemów ekologicznych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego należy zaliczyć zanieczyszczenie osadów dennych zbiorników wodnych. Osady denne tylko w nielicznych przypadkach spośród 50 przebadanych zbiorników wodnych zawierały mikroelementy w ilości zbliżonej do tła geochemicznego regionu, natomiast w pozostałych występowały przekroczenia, świadczące o istniejącym zanieczyszczeniu antropogenicznym. Koncentrację pierwiastków śladowych (w tym toksycznych metali) w osadach, wyższą od zakresu naturalnego występowania tych pierwiastków, potwierdza zwykle dużo większa od tła geochemicznego wartość nie tylko jej mediany, ale też pierwszego kwartyła prób. Świadczą o tym również wartości indeksu geoakumulacyjnego (I_{geo}), które rzadko potwierdzają brak zanieczyszczenia osadów ($I_{geo} \leq 0,0$) w przypadku: cynku i kadmu — w 6 zbiornikach, ołowiu — w 10 zbiornikach, miedzi — w 9 akwenach, niklu — w 4, kobaltu — w 2, wanadu i arsenu — w jednostkowych obiektach, a sytuacja taka nie dotyczyła: chromu, baru i strontu. Wartości indeksu geoakumulacyjnego, w zdecydowanej przewadze były typowe dla osadów umiarkowanie zanieczyszczonych, a poza jednym wyjątkiem w żadnym innym przypadku niewskazujące na silne bądź ekstremalne zanieczyszczenie. Nieco dokładniejsze spektrum zanieczyszczenia ujawnia zastosowanie zaproponowanego wskaźnika krotności przekroczenia regionalnego tła geochemicznego (I_{RE}) danego pierwiastka śladowego. Wskaźnik krotności przekroczenia tła geochemicznego waha się w granicach: 0,4—145,6 dla cynku, 0,5—56,6 dla ołowiu, 0,3—224,0 dla kadmu, 0,6—18,1 dla miedzi, 2,5—18,6 dla chromu, 1,1—12,9 dla niklu, 0,8—24,8 dla kobaltu, 2,7—195,9 dla baru, 2,7—43,2 dla strontu i 0,6—27,1 dla wanadu oraz 1,2—54,3 dla arsenu. O ile brak przekroczenia tła geochemicznego zdarza się raczej sporadycznie (dla: Pb — 7 razy, Cd — pięciokrotnie, Zn i V — po 4 razy, dla Cu w 3 zbiornikach i dla Co w jednym przypadku), o tyle nie są rzadkością przekroczenia kilkunasto- czy kilkudziesięciokrotne, a kilka razy zdarzają się nawet ponadstukrotne.
- Stwierdzono wyższą zawartość metali ciężkich i innych pierwiastków w osadach dennych w stosunku do osadów podłoża (otoczenia) mis zbiorników wodnych, co wskazuje na antropogeniczne wzbogacenie osadów dennych w mikroelementy, a tym samym na kumulacyjne oddziaływanie zbiorników wodnych i przejawy samooczyszczania wód. Zaproponowany wskaźnik wzbogacenia antropogenicznego (I_{AP}) pierwiastkami śladowymi (w tym toksycznymi metalami) osadów dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego wahał się

w granicach: 2,1—338,5 dla cynku, 1,4—115,7 dla ołowiu, 1,7—718,0 dla kadmu, 0,9—24,7 dla miedzi, 0,5—2,6 dla chromu, 0,8—10,7 dla niklu, 0,8—17,4 dla kobaltu, 0,7—36,0 dla baru, 1,0—11,9 dla strontu, 0,6—32,0 dla wanadu oraz 0,5—54,3 dla arsenu. Brak wzbogacenia antropogenicznego osadów dennych w pierwiastki śladowe występuje sporadycznie. Zdecydowanie dominują przypadki kilkukrotnego wzbogacenia osadów dennych (ponad 50% zbiorników w przypadku każdego pierwiastka z wyjątkiem Cd, który reprezentuje większą krotność), rzadziej występuje wzbogacenie antropogeniczne osadów dennych na poziomie kilkunasto- czy kilkudziesięciokrotności (9 zbiorników w przypadku kadmu, 7 akwenów w przypadku cynku i tyle samo w odniesieniu do ołowiu, pięciu — arsenu, czterech — miedzi, a także pojedynczych akwenów w przypadku: niklu, kobaltu, baru i strontu), chociaż wystąpiły przypadki wzbogacenie osadów dennych na poziomie większym od stukrotności (w czterech zbiornikach w przypadku kadmu, trzech — cynku i dwóch — ołowiu).

8. Na podstawie przeprowadzonych badań i przy założeniu stałości warunków środowiskowych można wnioskować o czasie funkcjonowania zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim w zakresie od kilkudziesięciu lat do kilkudziesięciu tysięcy lat, przy czym żywotność większości badanych obiektów, ze względu na ich niewielkie rozmiary, wynosi od kilkuset lat do kilku tysięcy lat, a więc odpowiada czasowi dalszej egzystencji większości jezior polskich, które funkcjonują już co najmniej kilka tysięcy lat. Wskazuje to na szybkie tempo ewolucji zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego. Wobec antropogenicznej stymulacji procesów morfogenetycznych tempo rozwoju mis zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim jest zdecydowanie szybsze w porównaniu do obiektów jeziornych pozbawionych antropopresji.
9. Zróżnicowanie procesów geomorfologicznych w obrębie mis górnośląsko-zagłębiowskich zbiorników wodnych powoduje, że znaczenie przyrodnicze, a także gospodarcze osadów i form utworzonych w wyniku ich oddziaływania może być różne. Delty — mimo obecności zanieczyszczeń — mają ważne znaczenie przyrodnicze (np. miejsca różnych siedlisk, kształtowanie bioróżnorodności zbiorników wodnych, różnicowanie tej bioróżnorodności, obszary objęte różnymi formami ochrony przyrody) oraz społeczno-gospodarcze (np. oczyszczanie wody, eksploatacja złóż antropogenicznych, tereny rekreacyjne, potencjalne miejsce tzw. upraw roślin energetycznych, znaczenie dla gospodarki leśnej, materiał rekultywacyjny). W nielicznych przypadkach delty powodują utrudnienia w funkcjonowaniu zbiorników wodnych. Procesy brzegowe zasadniczo nie powodują utrudnień w użytkowaniu strefy litoralnej i zapewnieniu funkcjonalności gospodarczej samych akwenów, pomijając nieliczne przypadki wystąpienia szkód infrastrukturalnych, które klasyfikuje się głównie w kategoriach mikro-skalowych.

Wykaz fotografii

- Fot. 1. Osady powierzchniowe (po lewej) i odwodna strefa krawędziowa (po prawej) delty Kłodnicy w zbiorniku Dzierżno Duże (fot. J. Krawczyk i M.A. Rzętała).
- Fot. 2. Niewielkich rozmiarów delta u ujścia Jaworznika do pierwszego zbiornika kaskady Rogoźnik (fot. M.A. Rzętała).
- Fot. 3. Osady dennie w okresowo pozbawionym wody zbiorniku groblowym Harmężę (fot. M.A. Rzętała).
- Fot. 4. Osady dennie w osuszonym zbiorniku groblowym Wielikąt (fot. M.A. Rzętała).
- Fot. 5. Częściowo wypełnione osadami rozlewisko Bobrka w Sosnowcu-Klimontowie w 2007 r. (fot. M.A. Rzętała).
- Fot. 6. Klifowe wybrzeże zbiornika Kuźnica Wareżyńska (fot. R. Machowski).
- Fot. 7. Klifowe wybrzeże zbiornika Dzierżno Duże (fot. J. Krawczyk i M.A. Rzętała).
- Fot. 8. Plaża z systemem różnej wysokości półek terasowych na wybrzeżu zbiornika Dzierżno Duże (fot. M. Rzętała).
- Fot. 9. Abradowany system teras zbiornikowych z początkowym stadium sukcesji roślinności na wybrzeżu zbiornika Dzierżno Duże (fot. M.A. Rzętała).
- Fot. 10. Mikrozatoka abrazyjno-źródłiskowa na wybrzeżu zbiornika Pogoria I (fot. M.A. Rzętała).
- Fot. 11. Plaża na południowym wybrzeżu zbiornika Dzierżno Duże (fot. M.A. Rzętała)
- Fot. 12. Organiczny wał brzegowy na pierwszym planie i cypel piaszczysty w oddali na wybrzeżu zbiornika Dzierżno Duże (fot. M.A. Rzętała).
- Fot. 13. Mierzeja na północnym wybrzeżu (po lewej) oraz odsłonięcie osadów limnicznych mierzei i jej podłoża na południowym wybrzeżu (po prawej) zbiornika Dzierżno Duże (fot. M.A. Rzętała).
- Fot. 14. Wały brzegowe różnego typu i genezy (fot. M.A. Rzętała).
- Fot. 15. Antropogeniczna zabudowa brzegów zbiornika Koparki w Jaworznie (fot. M.A. Rzętała).
- Fot. 16. Formy abrazyjne (po lewej) i zniszczone umocnienia przeciwabrazyjne (po prawej) na wybrzeżu zbiornika Irkuckiego (fot. M.A. Rzętała i M. Rzętała).

Wykaz tabel

- Tabela 1. Parametry morfo- i hydrometryczne zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim objętych badaniami geomorfologicznymi.
- Tabela 2. Użytkowanie gruntów w zlewniach zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego objętych badaniami geomorfologicznymi.
- Tabela 3. Skład podstawowy [%] osadów dennych zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim.
- Tabela 4. Podstawowe charakterystyki występowania wybranych pierwiastków w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego.
- Tabela 5. Zawartość wybranych pierwiastków w liściach i łodygach trzciny pospolitej (*Phragmites australis*) porastającej zbiorniki wodne regionu górnośląsko-zagłębiowskiego.
- Tabela 6. Zawartość pierwiastków śladowych w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego.
- Tabela 7. Wartości indeksu geoakumulacyjnego (I_{geo}) obliczone dla pierwiastków śladowych w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego.
- Tabela 8. Wartości wskaźnika krotności przekroczenia regionalnego tła geochemicznego (I_{RE}) obliczone dla pierwiastków śladowych w osadach dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego.
- Tabela 9. Wartości wskaźnika wzbogacenia antropogenicznego (I_{AD}) pierwiastkami śladowymi osadów dennych zbiorników wodnych regionu górnośląsko-zagłębiowskiego.

Literatura

- An Y.J., Kampbell D.H., 2003: Total, dissolved, and bioavailable metals at Lake Texoma marinas. *Environmental Pollution*, Vol. 122, No. 2, s. 253—259.
- Babiński Z., Banach M., 1992: Wpływ sztucznego zbiornika na Wiśle we Włocławku na przebieg procesów fluwialnych i stokowych, [w:] Kotarba A. (red.): System denudacyjny Polski. *Prace Geograficzne Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN*, 155. IGiPZ PAN, Wrocław—Warszawa—Kraków, s. 69—83.
- Badania i prognozy załadownienia zbiornika wodnego Poraj na Warcie, 1989. ZEMPOL, Kraków (maszynopis).
- Badora K., 2005: Struktura krajobrazów delt rzecznych na Opolszczyźnie i ich znaczenie w regionalnym systemie ochrony przyrody, [w:] Struktura przestrzenno-funkcjonalna krajobrazu — studium uwarunkowań i kierunki zagospodarowania geokompleksów naturalnych i zurbanizowanych. Uniwersytet Wrocławski, Wrocław, s. 174—182.
- Bajkiewicz-Grabowska E., Magnuszewski A., Mikulski Z., 1993: *Hydrometria*. PWN, Warszawa, s. 313.
- Bakoariniaina L.N., Kusky T., Raharimahefa T., 2006: Disappearing Lake Alaotra: Monitoring catastrophic erosion, waterway silting, and land degradation hazards in Madagascar using Landsat imagery. *Journal of African Earth Sci.*, Vol. 44, No. 2, s. 241—252.
- Banach M., 1977: Rozwój osuwisk na prawym zboczu doliny Wisły między Dobrzyniem a Włocławkiem. *Prace Geograficzne Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN*, 124. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, PAN, Wrocław—Warszawa—Kraków—Gdańsk, s. 101.
- Banach M., 1981: Abrazja brzegów a zamulanie zbiornika „Włocławek”. *Gospodarka Wodna*, 11—12, s. 283—287.
- Banach M., 1986: Przekształcenia brzegów zbiornika Włocławskiego, [w:] Szupryczyński J. (red.): *Zbiornik Włocławski — niektóre problemy z geografii fizycznej*. Dokumentacja Geograficzna, z. 5. IGiPZ PAN, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław—Warszawa—Kraków—Gdańsk—Łódź, s. 25—40.
- Banach M., 1988: Główne procesy a osady w strefie brzegowej zbiornika Włocławek. *Przeгляд Geograficzny*, t. 60, z. 3. s. 269—299.
- Banach M., 1992: Morfodynamika form akumulacyjnych strefy brzegowej zbiornika Włocławek, [w:] Banach M., Glazik R. (red.): *Zbiornik Włocławski — niektóre problemy z geografii fizycznej*. Dokumentacja Geograficzna, z. 1, s. 9—39.

- Banach M., 1993a: Sedymentacja w zbiorniku Włocławek a wyrównywanie linii brzegowej. *Czasopismo Geograficzne*, t. 64, z. 3—4, s. 285—306.
- Banach M., 1993b: Degradacja brzegów zbiornika Włocławek, [w:] *Przegląd Geograficzny*, t. 45, z. 1—2, s. 111—135.
- Banach M., 1994: Morfodynamika strefy brzegowej zbiornika Włocławek. *Prace Geograficzne Instytutu Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN*, 161. IGiPZ PAN, Wrocław—Warszawa—Kraków, s. 181.
- Banach M., 1995: Geologia i morfologia brzegów oraz dna zbiornika, [w:] Szupryczyński J. (red.): *Hydrologiczne i geomorfologiczne problemy zbiornika Włocławek*. Oddz. Toruński PTG, IG UMK, ZGiHN IGiPZ PAN, Toruń, s. 13—16.
- Bennet-Chambers M., Davies P., Knott B., 1999: Cadmium in aquatic ecosystems in Western Australia: A legacy of nutrient-deficient soils. *Journal of Environmental Management*, Vol. 57, s. 283—295.
- Bird E., Charles F., 2000: *Coastal Geomorphology: an introduction*. J. Wiley & Sons, Chichester, New York, s. 322.
- Bucka H., 1993: Fitoplankton w zbiornikach zaporowych, [w:] Dynowska I. (red.), Maciejewski M. (red.): *Dorzecze Górnej Wisły. Część II*. PWN, Warszawa—Kraków, s. 51—59.
- Bukowy S., 1974: Monoklina Śląsko-Krakowska i zapadlisko górnośląskie, [w:] Pożaryski W. (red.): *Budowa Geologiczna Polski*, t. 4, cz. 1, *Tektonika*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, s. 363—375.
- Carlson R.E., 1977: A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, Vol. 22, No. 2, s. 361—369.
- Charakterystyka klimatologiczna województwa katowickiego, 1992: IMiGW, Katowice (maszynopis).
- Cheung K.C., Poon B.H.T., Lan C.Y., Wong M.H., 2003: Assessment of metal and nutrient concentrations in river water and sediment collected from the cities in the Pearl River Delta, South China. *Chemosphere*, Vol. 52, No. 9, s. 1431—1440.
- Chmiel S., Michalczyk Z., Turczyński M., 2002: Hydrochemical changes of waters in reservoirs formed as result of mining deformations. *Limnological Review*, Vol. 2, s. 57—62.
- Choiński A., 1995: *Zarys limnologii fizycznej Polski*. UAM, Poznań, s. 298.
- Choiński A., 2007: *Limnologia fizyczna Polski*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, s. 547.
- Choiński A., Diatta J.B., Ławniczak A.E., 2010: Assessment of Cu, Zn, Pb and Cd contamination of bottom sediments in Lake Niepruszewskie, [in:] Ciupa T., Suligowski R. (eds.): *Water in Geographical Research*. Jan Kochanowski University, Kielce, s. 159—167.
- Chomiak T., Cyberski J., Mikulski Z., 1969: Akumulacja rumowiska w zbiornikach retencyjnych. *Prace Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego*, z. 96, s. 3—20.
- Cyberski J., 1965: Procesy denudacyjne w strefie przybrzeżnej zbiornika Rożnowskiego. *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej*, t. 1, z. 3—4, s. 41—52.
- Cyberski J., 1969: Sedymentacja rumowiska w zbiorniku Rożnowskim. *Prace Państwowego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego*, z. 96, s. 21—42.
- Czaja S., 1999: Zmiany stosunków wodnych w warunkach silnej antropopresji (na przykładzie konurbacji katowickiej). *Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego*, Katowice, s. 189.
- Czamara A., Grześków L., 2007: Ocena skuteczności działania zbiornika wstępnego w Mściwojowie. *Inżynieria Ekologiczna*, Vol. 18, s. 270—271.

- Dąbkowski S.L., 1978: Wyniki wstępnych badań abrazji brzegu zbiornika Nysa. *Gospodarka Wodna*, Vol. 10, s. 312—316.
- Dauvalter V., 1994: Heavy metals in lake sediments of the Kola Peninsula, Russia. *The Science of the Total Environment*, Vol. 158, No. 1—3, s. 51—61.
- Day J.W., Barras J., Clairain E., Johnston J., Justic D., Kemp G.P., Ko J., Lane R., Mitsch W.J., Steyer G., Templet P., Yanez-Arancibia A., 2005: Implications of global climatic change and energy cost and availability for the restoration of the Mississippi delta. *Ecological Engineering*, Vol. 24, s. 253—265.
- Dobrzański B., Uziak S., Klimowicz Z., Melke J., 1987: Badanie gleb w laboratorium i w polu. Przewodnik do ćwiczeń z gleboznawstwa dla studentów biologii i geografii. UMCS, Lublin, s. 332.
- Dojlido J.R., 1995: *Chemia wód powierzchniowych*. Wydawnictwo Ekonomia I Środowisko, Białystok, s. 342.
- Drwal J., (red.), 2002: *Wody delty Wisły: część wschodnia*. Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk, s. 192.
- Drwal J., Gołębiowski R., 1968: Próba klasyfikacji brzegów i niektóre procesy brzegowe Jeziora Raduńskiego. *Zeszyty Geograficzne WSP w Gdańsku*, R. X, s. 185—197.
- Dulias R., 2013: Denudacja antropogeniczna na obszarach górniczych na przykładzie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, s. 260.
- Dulias R., Rudnicka M., 2000: Typy brzegów antropogenicznych zbiorników wodnych na obszarze między Sosnowcem, Katowicami i Mysłowicami. *Kształtowanie środowiska geograficznego i ochrona przyrody na obszarach uprzemysłowionych i zurbanizowanych*, Vol. 30, s. 7—14.
- Duman F., Aksoy A., Demirezen D., 2007: Seasonal Variability of Heavy Metals in Surface Sediment of Lake Sapanca, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 133, No. 1—3, s. 277—283.
- Duś E., Kłosowski F., Krzysztofik R., Pukowska-Mitka M., Soczówka A., Tkocz M., 2008: Śląskie voivodship. A geographical-economic outline. University of Silesia, Sosnowiec.
- Fernex F., Zarate-del Valle P., Ramirez-Sanchez H., Michaud F., Parron C., Dalmasso J., Barci-Funel G., Guzman-Arroyo M., 2001: Sedimentation rates in Lake Chapala western Mexico: possible active tectonic control. *Chemical Geology*, Vol. 177, s. 213—228.
- Flis J., 1982: *Szkolny słownik geograficzny*. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne. Warszawa, s. 271.
- Galicka W., 1996: Limnologiczna charakterystyka nizinnego zbiornika zaporowego na Piliicy w latach 1981-1993. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 142.
- Gantidis N., Pervolarakis M., Fytianos K., 2007: Assessment of the quality characteristics of two lakes (Koronia and Volvi) of N. Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 125, No. 1—3, s. 175—181.
- Ghrefat H., Yusuf N., 2006: Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan. *Chemosphere*, Vol. 65, s. 2114—2121.
- Gierszewski P., 1988: Zmiany brzegów wywołane termicznymi ruchami lodu na przykładzie zbiornika Włocławskiego. *Przegląd Geograficzny*, t. 60, z. 4, s. 657—674.
- Gierszewski P., 1995: Przekształcenia brzegów spowodowane naporem lodu na zbiorniku stopnia wodnego Włocławek. *Kaskada*, nr 1—2, s. 16—18.
- Gilewska S., 1972: *Wyżyny Śląsko-Małopolskie*, [w:] Klimaszewski M. (red.): *Geomorfologia Polski, I. Polska Południowa — góry i wyżyny*. PWN, Warszawa.

- Głodek J., 1985: Jeziora zaporowe świata. PWN, Warszawa, s. 174.
- Gonczarow W.N., 1962: Dynamika rusłowych potoków. Leningrad.
- Graneli W., 1984: Reed *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel as an energy source in Sweden. Biomass, Vol. 4, s. 183—208.
- Grobelska H., 2001: Rozwój strefy brzegowej podpiętrzonych jezior na przykładzie Zbiornika Pakoskiego. Problemy Ekologii Krajobrazu, t. 10, s. 83—91.
- Grobelska H., 2002: Strefa brzegowa Zbiornika Pakoskiego na Noteci Zachodniej — morfologia i osady platformy przybrzeżnej. Przegląd Geograficzny, t. 74, z. 4, s. 547—567.
- Grobelska H., 2006: Ewolucja strefy brzegowej Zbiornika Pakoskiego (Pojezierze Gnieźnieńskie). Prace Geograficzne nr 205. IGiPZ PAN, Warszawa, s. 122.
- Grochulski J. (red.), 1980: Monografia zbiornika wodnego Otmuchów. WKiŁ, Warszawa, s. 120.
- Hahladakis J., Smaragdaki E., Vasilaki G., Gidarakos E., 2013: Use of Sediment Quality Guidelines and pollution indicators for the assessment of heavy metal and PAH contamination in Greek surficial sea and lake sediments. Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 185, No. 3, s. 2843—2853.
- Hardej M., Ozimek T., 2002: The effect of sewage sludge flooding on growth and morphometric parameters of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel. Ecol. Eng., Vol. 18, s. 343—350.
- Hocking P.J., Finlayson C.M., Chick A.J., 1983: The biology of Australian weeds. 12. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. Journal of the Australian Institute of Agricultural Science, Vol. 49, s. 123—132.
- Ikem A., Egiebor N.O., Nyavor K., 2003: Trace elements in water, fish and sediment from Tuskegee Lake, Southeastern USA. Water, Air, and Soil Pollution, Vol. 149, s. 51—75.
- Jackowski A., 1984: Wpływ zbiorników retencyjnych na strukturę społeczno-gospodarczą ich otoczenia. Czasopismo Geograficzne, t. LV, z. 3, s. 379—386.
- Jaguś A., 2000: Procesy brzegowe w obrębie zbiornika Poraj. Geographia. Studia et Dissertationes, t. 23, s. 59—90.
- Jaguś A., 2004: Badania limnicznych procesów brzegowych w Polsce (zarys rozwoju i aspekty poznawczo-użytkowe), [w:] Jankowski A.T., Rzętała M., (red.): Jeziora i sztuczne zbiorniki wodne — funkcjonowanie, rewitalizacja i ochrona. Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Polskie Towarzystwo Limnologiczne, Polskie Towarzystwo Geograficzne, Oddział Katowicki, Sosnowiec, s. 77—86.
- Jaguś A., Khak V., Rzętała M.A., Rzętała M., 2012: Trace elements in the bottom sediments of the Irkutsk Reservoir. Ecological Chemistry and Engineering A, Vol. 19, No. 8, s. 939—950.
- Jaguś A., Khak V., Rzętała M.A., Rzętała M., 2013: Accumulation of heavy metals in the bottom sediments of the Irkutsk Reservoir. Int. J. Environment and Health, Vol. 6, No. 4, s. 350—362.
- Jaguś A., Rzętała M., 2000: Zbiornik Poraj — charakterystyka fizyczno-geograficzna. Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec, s. 81.
- Jaguś A., Rzętała M., 2003: Zbiornik Kozłowa Góra — funkcjonowanie i ochrona na tle charakterystyki geograficznej i limnologicznej. Komisja Hydrologiczna Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Warszawa, s. 156.
- Jaguś A., Rzętała M., 2008: Znaczenie zbiorników wodnych w kształtowaniu krajobrazu (na przykładzie kaskady jezior Pogorii). Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-

-Białej, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Bielsko-Biała—Sosnowiec, s. 152.

- Jaguś A., Rzętała M., 2012: Hydrochemiczne konsekwencje zasilania zbiorników przepływowych wodami zanieczyszczonymi. *Rocznik Ochrona Środowiska*, Vol. 14, s. 632—649.
- Jaguś A., Rzętała M., Rzętała M.A., 1998: Morfologia strefy litoralnej jako indyktor ewolucji sztucznych zbiorników wodnych, [w:] IV Zjazd Geomorfologów Polskich „Główne kierunki badań geomorfologicznych w Polsce. Stan aktualny i perspektywy”. Wydawnictwo UMCS, Lublin, s. 413—414.
- Jahn A., 1955: Dolina Kłodnicy i stratygrafia utworów plejstocenijskich pod Gliwicami (Górny Śląsk). *Biuletyn IG*, nr 97, s. 311—335.
- Jankowski A.T., Molenda T., Rzętała M.A. Rzętała M., 2002: Heavy metals in bottom deposits of artificial water reservoirs of the Silesian Upland as an indicator of human impact into the environment. *Limnological Review*, Vol. 2, s. 171—180.
- Jankowski A.T., Molenda T., Rzętała M., 2001: Reservoirs in subsidence basins and depression hollows in the Silesian Upland — selected hydrological matters. *Limnological Review*, Vol. 1, s. 143—150.
- Jankowski A.T., Rzętała M., 2004: Stan badań limnologicznych w regionie górnośląskim, [w:] Jankowski A.T., Rzętała M., (red.): Jeziora i sztuczne zbiorniki wodne — funkcjonowanie, rewitalizacja i ochrona. WNoZ UŚ, Polskie Towarzystwo Limnologiczne, PTG — Oddział Katowicki, Sosnowiec, s. 101—115.
- Jankowski A.T., Rzętała M., 1998: Eutrofizacja sztucznych zbiorników wodnych na Wyżynie Śląskiej i jej obrzeżach, [w:] W. Lange, D. Borowiak (red.): Zagrożenia degradacyjne a ochrona jezior. Wydawnictwo DJ, Gdańsk, s. 27—31.
- Jernström J., Lehto J., Dauvalter V.A., Hatakka A., Leskinen A., Paatero J., 2010: Heavy metals in bottom sediments of Lake Umbozero in Murmansk Region, Russia. *Environ. Monit. Assess.* No. 161(1—4), s. 93.
- Joshi U.M., Balasubramanian R., 2010: Characteristics and environmental mobility of trace elements in urban runoff, *Chemosphere*, Vol. 80, s. 310—318.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1979: Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, s. 300.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1993: Biogeochemia pierwiastków śladowych. PWN, Warszawa, s. 364.
- Kajak Z., 1979: Eutrofizacja jezior. PWN, Warszawa, s. 233.
- Kajak Z., 1995: Eutrofizacja nizinnych zbiorników zaporowych, [w:] Zalewski M. (red.): Procesy biologiczne w ochronie i rekultywacji nizinnych zbiorników zaporowych. Biblioteka Monitoringu Środowiska, PIOŚ, WIOŚ, ZES UŁ, Łódź, s. 33—41.
- Kajak Z., 1998: Hydrobiologia-Limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych. PWN, Warszawa, s. 355.
- Kamiński A., Rzętała M., Szczypek T., 2003: Rola zbiorników wodnych w kształtowaniu krajobrazu, [w:] Człowiek i woda. Polskie Towarzystwo Geograficzne, Oddział Katowicki, Sosnowiec, s. 54—63.
- Kornaukhova G.A., 2001: Belt zoning of sedimentation in the Angara Cascade Reservoirs. *Geochemistry International*, Vol. 49, No. 6, s. 605—617.
- Kasza H., 2009: Zbiorniki zaporowe. Znaczenie — eutrofizacja — ochrona. Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała, s. 366.
- Khan A.T., Forester D.M., Mielke H.W., 1995: Heavy metal concentrations in two populations of crayfish. *Veterinary Human Toxicology*, Vol. 37, s. 426—428.

- Kieraś W., Majka J., Racinowski R., 1973: Próba określenia ilościowej charakterystyki abrazyj na zbiorniku Solińskim. *Gospodarka Wodna*, nr 4, s. 129—131.
- Klasyfikacja zasobów glebowych świata (Word reference base for soil resources). International Society of Soil Science, International Soil Reference and Information Centre. Polish Soil Science Society, Toruń 2003, s. 106.
- Klimaszewski M., 1978: *Geomorfologia*. PWN, Warszawa, s. 1098.
- Klimek K., Łajczak A., Zawilińska L., 1989: Cechy sedymentologiczno-geochemiczne delty Soły w Zbiorniku Żywieckim. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich*, Vol. 29, s. 85—91.
- Klimek K., Łajczak A., Zawilińska L., 1990: Sedimentary environment of modern Dunajec delta in artificial Rożnów Lake, Carpathian Mts., Poland. *Quaestiones Geographicae*, Vol. 11/12, s. 81—92.
- Kondracki J., 1994: *Geografia Polski. Mezoregiony fizycznogeograficzne*. PWN, Warszawa, s. 340.
- Kondracki J., 1998: *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa, s. 441.
- Korołek H., 1968: Procesy brzegowe i zmiany linii brzegowej jeziora Mikołajskiego. *Prace Geograficzne Instytutu Geografii PAN*, 73. IG PAN, PWN, Warszawa, s. 68.
- Korotaj M.J., 1990: Rozwój procesów abrazyjnych i ich rola w przekształceniu prawego brzegu jeziora Włocławskiego. *Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego*, Warszawa, s. 107.
- Kosov V.I., Kosova I.V., Levinskii V.V., Ivanov G.N., Khilchenko A.I., 2004: Distribution of Heavy Metals in Lake Seliger Bottom Deposits. *Water Resources*, Vol. 31, No. 1, s. 46—54.
- Kostecki M., 1975: Wstępne obserwacje nad transformacją brzegów zbiornika w Tresnej. *Gospodarka Wodna*, nr 4, s. 144—145.
- Kostecki M., 2000: Zawiesina jako element zanieczyszczenia antropogenicznego ekosystemu wodnego na przykładzie zbiornika zaporowego Dzierżno Duże (woj. śląskie). *Archiwum Ochrony Środowiska*, Vol. 26, nr 4, s. 75—94.
- Kostecki M., 2003: Alokacja i przemiany wybranych zanieczyszczeń w zbiornikach zaporowych hydrowęzła rzeki Kłodnicy i Kanale Gliwickim. *Prace i Studia IPIŚ PAN*, nr 57, Zabrze, s. 124.
- Kostecki M., 2007b: Bioakumulacja metali ciężkich w wybranych elementach antropogenicznych ekosystemów wodnych Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. *IPIŚ PAN*, Zabrze, s. 87.
- Kowalik P., 2001: Polderowa gospodarka wodna na Żuławach delty Wisły. *Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk*, z. 19. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 145.
- Kozyreva E., Mazaeva O., Molenda T., Rzętała M.A., Rzętała M., Trzhtsinski Yu.B., 2004: Geomorphological processes in conditions of human impact — Lake Baikal, Southern part of the Angara valley, Silesian Upland. *University of Silesia — Faculty of Earth Sciences*, Sosnowiec, s. 88.
- Kozyreva E.A., Rzętała M.A., Rzętała M., 2000: Water reservoirs in the Silesian Upland and its borders — selected anthropogenic conditions for the course of limnic processes, [in:] Jankowski A.T., Pirozhnik I.I. (eds.): *Nature use in the different conditions of human impact*. Belarus University, University of Silesia, Minsk—Sosnowiec, s. 156—163.
- Łajczak A., 1986: Zamulenie i lokalizacja zbiorników zaporowych w polskich Karpatach. *Gospodarka Wodna*, nr 2, s. 47—50.

- Łajczak A., 1995: Studium nad zamulaniem wybranych zbiorników zaporowych w dorzeczu Wisły. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, z. 8. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, s. 105.
- Łajczak A., 2003: Silting of the Goczałkowice reservoir, [w:] Jankowski A.T., Rzętała M., (red.): Problemy geoekologiczne górnośląsko-ostrowskiego regionu przemysłowego. Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec, s. 96—101.
- Łajczak A., 2006: Deltas in dam-retained lakes in the Carpathian part of the Vistula drainage basin. *Prace Geograficzne Uniwersytetu Jagiellońskiego*, Vol. 116, s. 99—109.
- Lange W. (red.), 1993: Metody badań fizycznolimnologicznych. Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, s. 175.
- Ławniczak A.E., Choiński A., Kurzyca I., 2011: Dynamics of Lake Morphometry and Bathymetry in Various Hydrological Conditions. *Polish J. Environ. Stud.*, Vol. 20, No. 4, s. 931—940.
- Leśniok M., 1996: Zanieczyszczenie wód opadowych w obrębie Wyżyny Śląsko-Krakowskiej. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, s. 124.
- Lewandowski J., 1982: Zasięg lądolodu zlodowacenia środkowopolskiego na Wyżynie Śląskiej. *Biuletyn Instytutu Geologicznego, Z badań czwartorzędu w Polsce, XXVI, WG*, Warszawa.
- Lewandowski J., Kaziuk H., 1982: Ewolucja kopalnej sieci rzecznej regionu śląsko-krakowskiego. *Kwartalnik Geologiczny*, t. 26, nr 1, s. 177—190.
- Lindner L. (red.), 1992: Czwartorzęd. Osady. Metody badań. *Stratygrafia*. Wydawnictwo PAE, Warszawa.
- Lindström M., Håkanson L., 2001: A model to calculate heavy metal load to lakes dominated by urban runoff and diffuse inflow. *Ecological Modelling*, Vol. 137, No. 1, s. 1—21.
- Lis J., Pasieczna A., 1995a: Atlas geochemiczny Polski 1:2500000. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Lis J., Pasieczna A., 1995b: Atlas geochemiczny Górnego Śląska 1 : 200 000. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Liu S., Zhang W., He Q., Li D., Liu H., Yu L., 2010: Magnetic properties of East China Sea shelf sediments off the Yangtze Estuary: Influence of provenance and particle size. *Geomorphology*, Vol. 119, s. 212—220.
- Łopuch P.S., 1995: Roślinność wodna sztucznych zbiorników wodnych na Białorusi. *Kształtowanie środowiska geograficznego i ochrona przyrody na obszarach uprzemysłowionych i zurbanizowanych*, nr 19, s. 34—41.
- Loska K., Wiechuła D., 2003: Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir. *Chemosphere*, Vol. 51, s. 723—733.
- Machowski R., 2010: Przemiany geosystemów zbiorników wodnych powstałych w nieckach osiadania na Wyżynie Katowickiej. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, s. 178.
- Machowski R., Ruman M., Rzętała M.A., Rzętała M., 2008: Morfologia dna i strefy litoralnej Zbiornika Turawskiego. *Kształtowanie środowiska geograficznego i ochrona przyrody na obszarach uprzemysłowionych i zurbanizowanych*, nr 39, s. 45—57.
- Magiera T., Strzyszczyk Z., Kostecki M., 2002. Seasonal changes of magnetic susceptibility in sediments from Lake Zywiec (south Poland). *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 141, nr 1—4, s. 55—71.

- Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku, 2000. Skala 1 : 1 000 000. Redaktorzy naukowci: R. Dadlez, S. Marek, J. Pokorski. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Mapa geologiczna Polski, 1979: Mapa utworów powierzchniowych, skala 1 : 200 000, ark. Gliwice. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Mapa geologiczna Polski, 1980: Mapa utworów powierzchniowych, skala 1 : 200 000, ark. Kraków. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Mapa geologiczna Polski, 2006. Skala 1 : 500 000. Redakcja naukowa: L. Marks, A. Ber, W. Gogołek, K. Piotrowska. Redakcja merytoryczna: J. Małecka, E. Nauwaldt. Ministerstwo Środowiska, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Mapa hydrograficzna w skali 1 : 50 000. 1994. Ark.: M-34-76-C (Sucha Beskidzka). Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Mapa hydrograficzna w skali 1 : 50 000. 2000. Ark.: M-34-49-B (Strzelce Opolskie), M-34-50-A (Lubliniec Płd.), M-34-50-B (Kalety), M-34-51-A (Koziegłowy), M-34-51-B (Myszków), M-34-52-A (Kroczyce). Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Mapa hydrograficzna w skali 1 : 50 000. 2001. Ark.: M-34-50-C (Pyskowice), M-34-50-C (Bytom), M-34-51-c (Siewierz), M-34-62-A (Gliwice), M-34-62-B (Chorzów), M-34-63-A (Katowice), M-34-63-B (Jaworzno). Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Mapa hydrograficzna w skali 1 : 50 000. 2002. Ark.: M-34-52-C (Ogrodzieniec). Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Mapa hydrograficzna w skali 1 : 50 000. 2003. Ark.: M-34-49-D (Ujazd), M-34-51-D (Zawiercie), M-34-61-A (Polska Cerekiew), M-34-61-B (Kuznia Raciborska), M-34-61-C (Racibórz), M-34-61-D (Wodzisław Śląski), M-34-62-C (Rybnik), M-34-63-D (Tychy), M-34-63-C (Oświęcim), M-34-63-D (Chrzanów), M-34-64-A (Olkusz), M-34-64-C (Krzeszowice), M-34-73-B (Gorzyce), M-34-74-A (Jastrzębie-Zdrój), M-34-74-B (Pszczyna), M-34-74-C (Cieszyn), M-34-74-D (Skoczów), M-34-75-A (Czechowice-Dziedzice), M-34-75-B (Andrychów), M-34-75-C (Bielsko-Biała), M-34-75-D (Gilowice), M-34-76-A (Kalwaria Zebrzydowska). Główny Geodeta Kraju, Warszawa.
- Mapa topograficzna Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, 1 : 25 000, ark.: 2, 4, 6. Zarząd Topograficzny Sztabu Generalnego, Warszawa 1960.
- Mapa topograficzna, 1 : 10 000, ark. Nakło. PSGIK, Warszawa 2001.
- Mapa topograficzna, 1 : 10 000, ark. Świętochłowice. OPGK, Rzeszów 1995.
- Mapa topograficzna, 1 : 50 000, ark.: Gliwice (M-34-62-A) i Chorzów (M-34-62-B). GUGiK, PPGK Warszawa 1998a.
- Mapa topograficzna, 1 : 10 000, ark.: Gliwice-Sośnica, Zabrze Makoszowy. PSGIK, OPGK, Białystok 1998b.
- Mapa topograficzna, 1 : 100 000, ark. Katowice. WIG, Katowice 1933.
- Mapa topograficzna, 1 : 25 000, ark. 531.22. GUGiK, Warszawa 1988.
- Mapa topograficzna, 1 : 25 000, ark. 532.11. GUGiK, Warszawa 2001.
- Mapa topograficzna, 1 : 25 000, ark.: 531.12 — Gliwice, 531.14 — Knurów, 531.21 — Ruda Śląska. GUGiK, Warszawa 1987.
- Mapa topograficzna, 1 : 50 000, ark. Jaworzno. GUGiK, Warszawa 1996.
- Mapa topograficzna, 1 : 50 000, ark. Katowice. GUGiK, Warszawa 2010.
- Marszelewski W., 2005: Zmiany warunków abiotycznych w jeziorach Polski Północno-Wschodniej. Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń, s. 288.
- Mastyński J., 1987: Zbiornik zaporowy Porąbka na Sole. Gospodarka Wodna, nr 8, s. 182—184.

- Matuszkiewicz W., 1981: Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, s. 298.
- Mazur Z., 1975: Formowanie się brzegów sztucznych zbiorników wodnych. *Gospodarka Wodna*, nr 4, s. 142—143.
- Migoń P., 2006: *Geomorfologia*. PWN, Warszawa, s. 461.
- Mizerski W., 2005: *Geologia Polski dla geografów*. PWN, Warszawa, s. 255.
- Molenda T., 2001: Heavy metals in bottom deposits of anthropogenic water reservoirs in Katowice. *Limnological Review*, Vol. 1, s. 213—218.
- Molenda T., 2011: Naturalne i antropogeniczne uwarunkowania zmian właściwości fizyczno-chemicznych wód w pogórnich środowiskach akwaticznych (na przykładzie regionu górnośląskiego i obszarów ościennych). Uniwersytet Śląski, Wydawnictwo Gnome, Katowice, s. 135.
- Molenda T., Rzętała M.A., Rzętała M., 2001: Anthropogenic changes in relief in the Silesian Upland — forms and processes, [in:] *Současný stav geomorfologických výzkumů*. Ostravska univerzita, Česká Asociace Geomorfologů, Ostrava, s. 107—109.
- Müller G., 1969: Index of geoaccumulation in sediments of the Rine River. *Geojournal* 2, s. 108—118.
- Musiela S., 1997: Brzegi mórz i oceanów, [w:] *Encyklopedia Geograficzna Świata*, t. VII. OPRES, Kraków.
- Mutia T.M., Virani M.Z., Moturi W.N., Muyela B., Mavura W.J., Lalah J.O., 2012: Copper, lead and cadmium concentrations in surface water, sediment and fish, *C. Carpio*, samples from Lake Naivasha: effect of recent anthropogenic activities. *Environment Earth Sci.*, Vol. 67, s. 1121—1130.
- Mycielska-Dowgiało E., Rutkowski J., (red.), 1995: *Badania osadów czwartorzędowych — wybrane metody i interpretacja wyników*. Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW, PIG, Komisja Litologii i Genezy Osadów Czwartorzędowych KBCz PAN, Warszawa, s. 356.
- Nguessan Y.M., Probst, J.L., Bur, T., Probst A., 2009: Trace elements in stream bed sediments from agricultural catchments (Gascogne region, S-W France): Where do they come from? *Science of the Total Environment*, Vol. 407, s. 2939—2952.
- Nguyen H.N., Leermakers M., Osán J., Tfrfk S., Baeyens W., 2005: Heavy metals in Lake Balaton: water column, suspended matter, sediment and biota. *Science of the Total Environment*, Vol. 340, No. 1—3, s. 213—230.
- Niedźwiedz T., 1998: Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu Górnego Śląska, [w:] Rzętała M., Szczypek T., (red.): *Geografia w kształtowaniu i ochronie środowiska oraz transformacji gospodarczej regionu górnośląskiego*, I Oddział Katowicki PTG, WNoZ UŚ, Sosnowiec, s. 35—49.
- Nowaczyk B., 1988: Późnowistuliańska i holocenińska ewolucja jezior Polski Środkowej, [w:] Churski Z. (red.): *Naturalne i antropogeniczne przemiany jezior i mokradeł w Polsce*. UMK, Toruń, s. 54—57.
- Nowaczyk B., 1994: Jezioro Gacno Wielkie i Gacno Małe — krótkoterminowe wahania poziomu jezior i ich efekty morfologiczne, [w:] Nowaczyk B. (red.): *Geomorfologia i osady strefy litoralnej jezior*. IBCz UAM, KBCz PAN, Poznań.
- Ochieng E.Z., Lalah J.O., Wandiga S.O., 2007: Analysis of Heavy Metals in Water and Surface Sediment in Five Rift Valley Lakes in Kenya for Assessment of Recent Increase in Anthropogenic Activities. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 79, No. 5, s. 570—576.

- Olmedo P., Pla A., Hernández A.F., Barbier F., Ayouni L., Gil F., 2013: Determination of toxic elements (mercury, cadmium, lead, tin and arsenic) in fish and shellfish samples. Risk assessment for the consumers. *Environment International*, Vol. 59, s. 63—72.
- Osman K., Schütz A., Åkesson B., Maciag A., Vahter M., 1998: Interactions between essential and toxic elements in lead exposed children in Katowice, Poland. *Clin. Biochem*, Vol. 31, s. 657—665.
- Ostrowska E., Ośródko L., 1987: Klimat województwa katowickiego, [w:] Materiały 36 Ogólnopolskiego Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geograficznego. Część II — Obrady sekcyjne. WNoZ UŚ, Oddział Katowicki PTG, Sosnowiec-Katowice, s. 28—30.
- Owczinnikow G.I., 1996: Wpływ procesów abrazyjnych na rozwój strefy przybrzeżnej zbiorników wodnych angarskiej kaskady elektrowni wodnych. Kształtowanie środowiska geograficznego i ochrona przyrody na obszarach uprzemysłowionych i zurbanizowanych, nr 23, s. 38—42.
- Owczinnikow G.I., Pawłow S.H., Trzcinskij J.B., 1999: Izmieniennie geologiczieskoj sriedy w zonach wliannia Angaro-Jenisiejskich wodochraniliszcz. Izdatielstwo Nauka, Nowosibirsk, s. 254.
- Owczinnikow G.I., Trzciniński J.B., Rzętała M., Rzętała M.A., 2002: Abrazyjno-akumulacyjne procesy w strefie brzegowej sztucznych zbiorników wodnych (na przykładzie południowej części Doliny Angary i Wyżyny Śląskiej). Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Instytut Skorupy Ziemskiej Syberyjskiego Oddziału Rosyjskiej Akademii Nauk, Sosnowiec—Irkuck, s. 102.
- Pasternak K., 1964: Observations on the transformation of banks in the Goczałkowice Reservoir. *Acta Hydrobiologica*, t. 16, z. 4.
- Pirrone N., Keeler G.J., 1996: The Rouge River watershed pollution by trace elements: atmospheric depositions and emission sources. *Water Science and Technology*, Vol. 33, No. 4—5, s. 267—275.
- Pluta Z., Rydzik E., 1982: Próba określenia wpływu procesów abrazyjnych brzegów Zbiornika Solińskiego na zmianę jego pojemności użytkowej. *Gospodarka Wodna*, nr 5, s. 60—64.
- Prowse T.D., Stephenson R.L., 1986: The relationship between winter lake cover, radiation receipts and the oxygen deficit in temperate lakes. *Atmosphere-Ocean*, Vol. 24, No. 4, s. 386—403.
- Rahmonov O., 2007: Relacje między roślinnością i glebą w inicyjalnej fazie sukcesji na obszarach piaszczystych, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, s. 198.
- Rahmonov O., Rzętała M., Rzętała M.A., 2004: Ecological conditions for vegetation growth in littoral zones of rivers and lakes (on the example of Salicaceae), [in:] Lóki J., Szabó J., (eds.): Anthropogenic aspects of landscape transformations. University of Silesia — Faculty of Natural Sciences, Debrecen, s. 29—34.
- Roach A.C., 2005: Assessment of metals in sediments from Lake Macquarie, New South Wales, Australia, using normalisation models and sediment quality guidelines. *Marine Environmental Research*, Vol. 59, No. 5, s. 453—472.
- Romashkin P.A., Williams D.F., 1997: Sedimentation history of the Selenga Delta, Lake Baikal: simulation and Interpretation. *Journal of Paleolimnology*, Vol. 18, No. 2, s. 181—188.
- Ruman M., Rzętała M., 2005: Zróznicowanie pokrywy lodowej zbiorników zaporowych Turawa i Kozłowa Góra w latach hydrologicznych 1975—1996, [w:] Jankowski A.T., Rzętała M., (red.): Jeziora i sztuczne zbiorniki wodne — procesy przyrodnicze oraz

znaczenie społeczno-gospodarcze. Uniwersytet Śląski — Wydział Nauk o Ziemi, Polskie Towarzystwo Limnologiczne, Polskie Towarzystwo Geograficzne — Oddział Katowicki, Sosnowiec, s. 189—196.

- Rydzik E., 1978: Przyczyny i formy niszczenia brzegów zbiornika Solińskiego. *Gospodarka Wodna*, nr 2, s. 47—52.
- Rzetała M., 1994: Klasyfikacja wybrzeży i procesy brzegowe wybranych zbiorników antropogenicznych Kotliny Dąbrowskiej. *Kształtowanie środowiska geograficznego i ochrona przyrody na obszarach uprzemysłowionych i zurbanizowanych*, nr 14, s. 29—37.
- Rzetała M., 2000: Bilans wodny oraz dynamika zmian wybranych zanieczyszczeń zbiornika Dzierżno Duże w warunkach silnej antropopresji. *Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego*, Katowice, s. 176.
- Rzetała M., 2008: Funkcjonowanie zbiorników wodnych oraz przebieg procesów limnicznych w warunkach zróżnicowanej antropopresji na przykładzie regionu górnośląskiego. *Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego*, Katowice, s. 172.
- Rzetała M., 2012: Funkcjonowanie pokrywy lodowej niewielkiego zbiornika wodnego w Czeladzi w latach 2010-2012. *Acta Geographica Silesiana*, nr 2 specjalny, s. 71—76.
- Rzetała M., Jaguś A., 2012: New lake district in Europe: origin and hydrochemical characteristics. *Water and Environment Journal*, Vol. 26, s. 108—117.
- Rzetała M., Jaguś A., Rzetała M.A., Rahmonov O., Rahmonov G., Khak V., 2013: Variations in the Chemical Composition of Bottom Deposits in Anthropogenic Lakes. *Polish Journal of Environmental Study*, Vol. 22, No. 6, s. 1799—1805.
- Rzetała M.A., 1998: Procesy brzegowe w obrębie zbiornika Dzierżno Duże. *Geographia. Studia et Dissertationes*, t. 22. *Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego*, Katowice, s. 29—51.
- Rzetała M.A., 2003: Procesy brzegowe i osady dennie wybranych zbiorników wodnych w warunkach zróżnicowanej antropopresji (na przykładzie Wyżyny Śląskiej i jej obrzeży). *Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego*, Katowice, s. 147.
- Rzetała M.A., 2014a (w druku): Delta of the Kłodnica river in the Dzierżno Duże reservoir — a case of natural response to human impact on land relief (southern Poland). 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2014. Published by STEF92 Technology Ltd., Sofia, s. 1—8.
- Rzetała M.A., 2014b (w druku): Lead in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia region (southern Poland). *Desalination and Water Treatment*, doi: 10.1080/19443994.2014.886297, s. 1—9.
- Rzetała M.A., 2014c (w druku): Assessment of toxic metal contamination of bottom sediments in water bodies in urban areas. *Soil and Sediment Contamination An International Journal*, doi:10.1080/15320383.2014.911721, s. 1—9.
- Rzetała M.A., Jaguś A., Rzetała M., 2013: Self-purification of Waters During Creation of Delta Forms. *Annual Set The Environment Protection — Rocznik Ochrona Środowiska*, Vol. 15, s. 2510—2525.
- Rzetała M.A., Machowski R., Rzetała M., 2009: Sedymentacja w strefie kontaktu wód rzecznych i jeziornych (na przykładzie zbiorników wodnych regionu górnośląskiego). *Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego*, Sosnowiec, s. 96.
- Rzetała M.A., Molenda T., Rzetała M., 2002: Bottom deposits as an indicator of ecological changes (on the example of artificial water reservoirs in the Pogoria catchment — Silesian Upland). [in:] *Anthropogenic aspects of landscape transformations*. University of Silesia — Faculty of Earth Sciences, Sosnowiec, s. 60—67.

- Rzętała M.A., Rahmonov O., Jagus A., Rahmonov M., Rzętała M., Machowski R., 2011: Occurrence of Chemical Elements in Common Reeds (*Phragmites Australis*) as Indicator of Environmental Conditions. *Research Journal of Chemistry and Environment*, Vol. 15 (2), s. 610—616.
- Rzętała M.A., Solarski M., Pradela A., Rzętała M., 2014 (w druku): Eutrophication of water reservoirs under anthropogenic, agricultural and industrial impacts (example of Southern Poland). *Research Journal of Chemistry and Environment*, Vol.18, No. 4, s. 1—7.
- Saito Y., Yang Z., Hori K., 2001: The Huanghe (Yellow River) and Changjiang (Yangtze River) deltas: a review on their characteristics, evolution and sediment discharge during the Holocene. *Geomorphology*, Vol. 41, s. 219—231.
- Salminen R. (red.), 2005: *Geochemical atlas of Europe. Part 1. Geological Survey of Finland, Espoo.*
- Skorbiłowicz E., Skorbiłowicz M., 2011: Metals in grain fractions of bottom sediments from selected rivers in north-eastern Poland. *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 36, No. 12, s. 567—578.
- Solarski M., Pradela A., Rzętała M., 2011: Natural and anthropogenic influences on ice formation on various water bodies of the Silesian Upland (southern Poland). *Limnological Review*, Vol. 11, No. 1, s. 33—44.
- Stanica A., Dan S., Ungureanu V.G., 2007: Coastal changes at the Sulina mouth of the Danube River as of human activities. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 55, s. 555—563.
- Stanley D.J., 1996: Nile delta: extreme case of sediment entrapment on a delta plain and consequent coastal land loss. *Marine Geology*, Vol. 129, s. 189—195.
- Świdarska-Bróz M., 1993: *Mikrozanieczyszczenia w środowisku wodnym.* Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, s. 144.
- Szajnowska-Wysocka A., Zuzanska-Zysko E., 2013: The Upper-Silesian conurbation on the path towards the “Silesia” metropolis. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series* 21, s. 111—124.
- Szczegółowa mapa geologiczna Polski, 1955. Skala 1 : 50 000, ark. Bytom. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Szczegółowa mapa geologiczna Polski, 1956. Skala 1 : 50 000, ark. Katowice. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Szczegółowa mapa geologiczna Polski, 1957. Skala 1 : 50 000, ark. Wojkowice. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Szczegółowa mapa geologiczna Polski, 1959. Skala 1 : 50 000, ark. Rybnik. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Szczegółowa mapa geologiczna Polski, 1960. Skala 1 : 50 000, ark. Zabrze. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Szczegółowa mapa geologiczna Polski, 1999. Skala 1 : 50 000, ark. Jaworzno. Ministerstwo Środowiska, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Szczypek T., Wach J., 1992: Antropopresja a przebieg naturalnych procesów rzeźbotwórczych (na przykładzie Wyżyny Śląskiej). *Kształtowanie środowiska geograficznego i ochrona przyrody na obszarach uprzemysłowionych i zurbanizowanych*, nr 4, s. 5—13.
- Szymanowska A., Samecka-Cymerman A., Kempers, A.J., 1999: Heavy Metals in Three Lakes in West Poland. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 43, No. 1, s. 21—29.
- Tobolski K., 1995: Osady dennie. [w:] Choiński A.: *Zarys limnologii fizycznej Polski.* Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, s. 181—205.

- Topographische karte, 1 : 25 000, Messtischblatt, 5679 — Beuthen, 1934.
- Topographische karte, 1 : 25 000, Messtischblatt, 5778 — Gleiwitz, 1939.
- Trzhtsinsky Yu.B., Rzętała M., 2004: The role of anthropogenic factors in formation of shores of Lake Baikal. *Limnological Review*, Vol. 4, s. 255—260.
- Verstraeten G., Bazzoffi P., Lajczak A., Radoane M., Rey F., Poesen F., De Vente J., 2006: Reservoir and Pond Sedimentation in Europe, [in:] Boardman J., Poesen J. (eds.): *Soil Erosion in Europe*. John Wiley & Sons Ltd., Oxford, s. 757—774.
- Walker W., 1979: Use of hypolimnetic oxygen depletion as a trophic index for lakes. *Water Resour. Res.*, Vol. 15, No. 6, s. 1463—1470.
- Wang H., Wang C.X., Wang Z.J., Cao Z.H., 2004: Fractionation of heavy metals in surface sediments of Taihu Lake, East China. *Environmental Geochemistry and Health*, Vol. 26, No. 2, s. 303—309.
- Wiejaczka Ł., 2008: Próba typologii brzegów zbiornika wodnego „Klimkówka”. *Landform Anal.*, Vol. 9, s. 217—221.
- Wilk M., Gworek B., 2009: Heavy Metals in Sewage Sludge. *Environment Protection and Natural Resources*, Vol. 39, s. 40—59.
- Wiśniewski B., Wolski T., 2005: Changes in Dąbie Lake bathymetry in the period 1962—1996. *Limnological Review*, Vol. 5, s. 255—262.
- Wysokiński L., 1980: Kryterium dynamiki zbczoy na przykładzie badań brzegów zbiornika Włocławek. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, nr 324. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Wysokiński L., Korotaj M.J., 1981: Rozwój procesów brzegowych w zbiorniku pod Włocławkiem w okresie 10 lat jego eksploatacji. *Przegląd Geofizyczny*, t. 26, z. 4, s. 261—266.
- Yang H., Rose N., 2005: Trace element pollution records in some UK lake sediments, their history, influence factors and regional differences. *Environment International*, Vol. 31, s. 63—75.
- Ye Z.H., Baker A.J.M., Wong M.H., Willis A.J., 1997: Zinc, Lead and Cadmium Tolerance, Uptake and Accumulation by the Common Reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. *Annals of Botany*, Vol. 80, s. 363—370.
- Ziętara T., 1994: Etapy niszczenia brzegów zbiornika na Rabie w Dobczycach przez współczesne procesy geomorfologiczne, [w:] *Ogólnopolski Zjazd PTG — referaty i postery*. Oddz. Lubelski PTG, UMCS, Lublin, s. 62—64.
- Ziętara T., 1995: Dynamika rozwoju platform abrazyjnych w otoczeniu zbiornika Żywieckiego na Sole, [w:] *Procesy Geomorfologiczne — zapis w rzeźbie i osadach*, nr 1. WNoZ UŚ, SGP, Sosnowiec, s. 78—79.
- Żmuda S., 1973: Antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego konurbacji górnośląskiej. *Śląski Instytut Naukowy*, Katowice, s. 211.

Martyna A. Rzętała

Selected geomorphological transformations of water body basins
and an assessment of bottom sediment pollution
under different levels of human pressure
(as exemplified by the Upper Silesia and Dąbrowa Basin region)

Summary

In geomorphological terms, the existence of water bodies entails a number of environmental consequences. The very emergence of such water bodies results in changes to the local erosion base and leads to the activation of qualitatively new morphogenetic processes. Geomorphological transformations concern each aspect of a depression that retains water. The contact zone between fluvial and limnic waters is subject to geomorphological modelling. As a result of sedimentation processes, the configuration of the bottom is altered. The coastal zone and even the area situated above, which is outside the reach of waves, are also transformed. Geomorphological transformations within water bodies exhibit varied natural and socio-economic impacts, which are largely due to the fact that their occurrence is conditioned by diverse environmental factors.

The water bodies studied are situated in the so-called Upper Silesia-Dąbrowa Basin region (Figs. 1 and 2) whose western part belongs to Upper Silesia and the eastern one to Western Lesser Poland in historical and ethnographic terms. In physical and geographical terms, it includes the Silesian Upland and the adjacent parts of several other macroregions. This area is considered the most anthropogenically transformed part of Poland, which has lately lost its industrial importance to the rapidly growing service sector.

In the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region, a significant number of water bodies have emerged, especially in the recent few decades. The group of 53 water bodies selected for geomorphological studies, which range from a few years to ca. 150 years in age, with an average of ca. 60 years, is a representative sample of all water bodies that form the anthropogenic lake district (Table 1). The different origins, morphometric and hydrochemical parameters and also catchment parameters of these water bodies make it possible to conduct studies that are unique due to the peculiar characteristics of the geomorphological transformations, which provide evidence of spontaneous natural response to anthropogenic changes in land relief resulting from diverse but sustained human impact on the environment (Figs. 3—5). Against the background of other anthropogenic water bodies around the world, the geomorphological transformations of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin

region occur on a micro scale but can at the same time be analysed under peculiar “field laboratory” conditions.

Given the unique features of the area, which has been largely transformed by human activity, and the representative character of the water bodies studied, the following research objectives have been formulated:

- assessing the factors that condition geomorphological transformations of water body basins under different levels of human (e.g. urban, industrial, agricultural) pressure;
- describing the characteristics of the forms and sediments that document geomorphological transformations within water body basins as a spontaneous natural response to anthropogenic changes in land relief;
- determining the effect of different levels of human pressure on the presence, mechanical and chemical composition as well as basic physico-chemical properties of bottom and shore sediments in water bodies;
- determining the relationship between the morphological evolution of water body basins under different levels of human pressure and the natural and economic functions of water bodies and the areas in their vicinity;
- determining the degree to which water bodies subject to different levels of human pressure exhibit peculiar geomorphological characteristics as compared to lakes and other water bodies present in areas unaffected by human activity.

Fieldwork, laboratory tests and indoor analyses were conducted with varying intensity from the late 1990s until 2013. Fieldwork included: hydrometric measurements of water flows, measurements of basic hydrochemical properties of water, sediment sampling, estimating the volume of debris transported, floristic surveys, plant material sampling, weighing sediments and plant material, photographic documentation, bathymetric surveys, constructing levelling lines and conducting situational/altitude measurements. Laboratory tests included the determination of the dry mass of plant material, the mechanical composition of sediments using the sieving and areometric methods, organic matter content in sediments by measuring weight loss on ignition, the amount of suspension in water by filtering the sample and weighing the dried sediments, the pH of sediments in KCl and of the aqueous extract, the content of organic carbon and of calcium carbonate, basic composition of sediments and trace element contents using inductively coupled plasma spectrometry (ICP), X-ray fluorescence (XRF) and instrumental neutron activation analysis (INAA), which was also used to determine micro-element content in plant tissues. Indoor analysis involved primarily library queries (including library and electronic databases), archival queries, cartographic analysis, mapping situation/altitude plans, processing bathymetric surveys and mapping visualisations. The statistical processing of numerical data involved the generally used correlation and regression methods, coefficients of determination, median values, quartiles, standard deviations and correlation coefficients. Formulas that supported geomorphological analyses were also used, such as the geoaccumulation index (I_{geo}), the ratio of values measured to the geochemical background (I_{RE}), the anthropogenic enrichment factor for bottom sediments (I_{AP}) and calculations concerning the approximate life span of water bodies (ATO_{WR}).

The studies conducted with respect to the geomorphological transformations of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region make it possible to draw several conclusions that summarise the most important issues.

Geomorphological transformations of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region are determined by the following types of factors: geological and lithological,

geomorphological, meteorological, hydrological (including those associated with the operating regime of such water bodies), soil and biogenic as well as socio-economic factors (Fig. 6 — 22, Table 2). Each type of factor has a peculiar regional impact due to the following facts:

- water body basins are situated mainly within Quaternary (less commonly Triassic and Carboniferous) surface formations, but allochthonous older deep substrate formations (e.g. Carboniferous or Triassic), which are deposited on the ground surface as a result of mining activity and spread as debris to areas where they have never occurred before, exert a widespread impact;
- water body basins function in an environment where the erosion base changes rapidly and there is an anthropogenically stimulated supply of debris caused by human pressure while the escarpments or horst and graben structure present in the study area are of secondary importance;
- the water retained in water bodies is subject to meteorological conditions typical of the transitional warm temperate climate zone with overlapping consequences of quantitative and qualitative anthropogenic changes in the atmosphere (e.g. air pollution);
- anthropogenic changes in water conditions, which are reflected by disruptions in the seasonal variability of water inflows and outflows, its pollution and fluctuations in water levels reaching up to 10 metres;
- the abundance of nutrients in the soil and aquatic environments, which is conducive to advanced water eutrophication and vegetation growth;
- the development of the mining and manufacturing industries that has lasted for several centuries, the concomitant urbanisation processes and the influx of population, which has resulted in a population density of ca. 4,000 persons per km² in the central part of the Katowice conurbation.

Debris sedimentation and vegetation sedimentation zones recognisable as deltas or accumulation surfaces (bottom sediment covers) provide evidence for the process of self-purification of the waters flowing from debris zones (especially with respect to rolled, dragged and suspended load). Deltas are the most obvious example of spontaneous natural regeneration after the change in the local erosion base caused by the emergence of a water body. Owing to the high sedimentation rate, the areas and volumes of deltas rise rapidly. Among the numerous deltas formed in water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region, the Kłodnica River delta at the location where it enters the Dzierżno Duże reservoir is the most spectacular in size (Figs. 23—26, Photos 1 and 2). This delta is around a dozen metres thick in some places and has a volume of approximately 2 million m³. Compared to other similar forms of this type around the world, it is also unique in terms of its mechanical (municipal sewage sludge mixed with coal sludge) and chemical (high contents of certain substances) composition.

Owing to the rapid geomorphological changes that are taking place, these water bodies should be considered as gradually losing their anthropogenic character and clearly assimilating with the surrounding environment, which is confirmed by a number of different natural processes that evidence a natural response to anthropogenic changes in land relief (Photos 6—14, Figs. 44—48). The essence of geomorphological changes that are taking place in the littoral zone of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region is the decreasing proportion of shores that are in the abrasion stage while the proportion of shores that are in the abrasion-accumulation and accumulation stages increases (Figs. 39 and 40). The dominance of accumulation processes that are typical of a mature stage of development

of the littoral zone (despite the short period during which the water bodies have existed in the environment — from a few years to ca. 150 years with an average of ca. 60 years) is evidenced by the formation of three distinct types of shores (Fig. 49): abrasion (21.2 km, i.e. 11.0% of the total length of shores), neutral (74.6 km, i.e. 38.7%) and accumulation shores (97.1 km, i.e. 50.3%). The significant role of vegetation in shaping the shore accumulation stage is evidenced by the overgrowing of water bodies (Figs. 41—43). From 1.7% to 80.0% of the original water surface is subject to this process (mean: 21%, median: 14.3%). The amount of vegetation changes over the year — at the height of the vegetation season the dry plant mass amounts to 7.1—17.5 kg/m² (mean: 10.4 kg/m², median: 9.9 kg/m²). When the entire overgrown area of water bodies is taken into account, the dry plant mass ranges from 8 to 8,000 tonnes depending on the water body in question. Therefore the contribution of vegetation to the sedimentation-driven supply of bottom sediments and thus to the filling of water body basins with sediments has been underestimated to date. With the exception of certain elements (e.g. Br, Co, Cr, Na), the vegetation overgrowing the coastal zones of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region exhibits no significant variation in terms of micro-element content in its tissues. While the results of common reed tissue analyses exhibit quantitative variation, they only reflect the fertility of the water environment and of the accumulated sediments on which the plants in question developed to a small extent (Table 5).

Water body basins are places where the material forming bottom sediments accumulates and thus serve as sedimentation basins of sorts, shaped by changes in the erosion base caused by human impact on land relief (Figs. 27—28, Photos 3—5). Bottom sediments are a good indicator of environmental characteristics in the vicinity. By documenting the role of natural and anthropogenic factors in shaping their amount, particle size distribution, chemical composition and physical and chemical properties, they are an excellent record of the phenomena and processes that take place in the geographical environment of the catchment and around the water body itself. This also underlines their role as an excellent indicator of environmental changes and a factor related to the dynamic evolution of anthropogenic lakes as ecosystems. The equivalent of sedimentation and sedimentation processes within the basins of water bodies is the formation of bottom sediment covers with an average thickness ranging from 0.2 to 79.9 cm depending on the water body in question (the mean being 24.3 cm); depending on the water body in question, the volume of such bottom sediments ranges from 200 m³ to 3.9 million m³.

In terms of their average mechanical composition, bottom sediments of water bodies correspond to clay loam with the lowest share attributable to the silty fraction (25.5%), followed by the clayey fraction (29.9%) and the highest share of sand grains (44.5%). For individual water bodies, the figures vary significantly and represent all sediment groups except for silty loam and silt (Fig. 29). As concerns basic sediment composition, the following substances were identified: SiO₂ (6.83—79.94%), Al₂O₃ (1.24—17.08%), Fe₂O₃ (2.07—13.08%), MnO (0.03—0.75%), MgO (0.33—13.30%), CaO (0.43—30.69%), Na₂O (0.05—1.13%), K₂O (0.16—2.49%), TiO₂ (0.06—1.02%), P₂O₅ (0.06—5.28%) and S (0.0—4.97%), and the loss on ignition ranged from 4.71% to 47.71% (Figs. 30 and 31, Table 3). As concerns micro-elements, the following were found (Table 6, Figs. 32—38, Table 4): Pb (32—3340 mg/kg), Zn (116.0—37 700 mg/kg), Cd (0.8—560.0 mg/kg), Cu (9.0—271.5 mg/kg), Cr (22.5—167.5 mg/kg), Ni (12.0—142.0 mg/kg), Co (3.0—99.0 mg/kg), Ba (261.5—19 200.0 mg/kg), Be (1.0—8.0 mg/kg), Sr (64.0—1 037.5 mg/kg), Ce (7.0—241.0 mg/kg), Eu (0.6—2.3 mg/kg), Nd (9.0—53.3 mg/kg), Sm (0.5—9.8 mg/kg), Hf (2.2—36.0 mg/kg), Zr (36.0—1822.0 mg/kg),

La (3.5—69.1 mg/kg), V (12.5—152.0 mg/kg), Sc (1.3—18.6 mg/kg), Y (4.0—51.3 mg/kg), Th (1.1—20.4 mg/kg), U (1.5—6.6 mg/kg), Cs (1.8—134.0 mg/kg), Rb (20.5—160.0 mg/kg), As (7.0—325.5 mg/kg), Sb (0.9—69.8 mg/kg), Br (2.0—90.0 mg/kg).

The pollution of bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region is a major environmental problem. Only in a few out of the 50 examined water bodies did bottom sediments contain micro-elements in amounts close to the geochemical background in the region; in the remaining water bodies, natural levels were exceeded, pointing to anthropogenic pollution. The fact that the concentration of trace elements (including toxic metals) in sediments is usually higher than the natural range of concentrations of such elements is confirmed by not only the median but also the first quartile of concentrations in the samples being much higher than the geochemical background (Table 6). This is also evidenced by the values of the geoaccumulation index (I_{geo}), which rarely confirm that the sediments are free of pollutants ($I_{geo} \leq 0.0$): in the case of zinc and cadmium, it was the case in 6 water bodies, for lead — in 10 water bodies, copper — 9 water bodies, nickel — 4 water bodies, cobalt — 2 water bodies, vanadium and arsenic — in just one water body each; such values were not found for chromium, barium and strontium (Table 7). In most cases the values of the geoaccumulation index were typical of moderately contaminated sediments, but in only one case did they indicate heavy or extreme contamination. A slightly more accurate picture of contamination can be obtained by the application of a new indicator — the ratio of values measured to the regional geochemical background for the trace element in question (I_{RE}) (Table 8). Ratios of the values measured to the geochemical background were as follows: 0.4—145.6 for zinc, 0.5—56.6 for lead, 0.3—224.0 for cadmium, 0.6—18.1 for copper, 2.5—18.6 for chromium, 1.1—12.9 for nickel, 0.8—24.8 for cobalt, 2.7—195.9 for barium, 2.7—43.2 for strontium, 0.6—27.1 for vanadium and 1.2—54.3 for arsenic. While cases where the geochemical background was not exceeded were rather rare (for Pb in 7 water bodies, for Cd in 5, for Zn and V in 4, for Cu in 3 water bodies and for Co in just one water body), it was not uncommon to find concentrations that exceeded it a dozen or even several dozen times; ratios of more than one hundred were found in a few cases.

Higher concentrations of heavy metals and other elements were found in bottom sediments in comparison to substrate sediments in the vicinity of water body basins, which points to anthropogenic enrichment of bottom sediments in micro-elements and thus also to the accumulation of micro-elements in water bodies and the self-purification of water. The proposed new anthropogenic enrichment factor (IAP) for trace elements (including toxic metals) in the bottom sediments of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region ranged as follows: 2.1—338.5 for zinc, 1.4—115.7 for lead, 1.7—718.0 for cadmium, 0.9—24.7 for copper, 0.5—2.6 for chromium, 0.8—10.7 for nickel, 0.8—17.4 for cobalt, 0.7—36.0 for barium, 1.0—11.9 for strontium, 0.6—32.0 for vanadium and 0.5—54.3 for arsenic (Table 9). No anthropogenic enrichment of bottom sediments in trace elements was only found in a few cases. In most cases, the enrichment ratio for bottom sediments was less than ten (in more than 50% of water bodies it was the case for each element except Cd, for which the ratio was higher); cases where the enrichment ratio of bottom sediments amounted to a dozen or even several dozen times were less frequent (9 water bodies in the case of cadmium and 7 in the case of zinc and lead, 5 for arsenic, 4 for copper and single water bodies for nickel, cobalt, barium, and strontium), although there were cases where the bottom sediment enrichment ratio exceeded one hundred (in 4 water bodies in the case of cadmium, 3 with respect to zinc and 2 with respect to lead).

On the basis of the studies conducted and under the assumption that environmental conditions remained constant, inferences can be drawn concerning the approximate life spans of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region, which varies from several decades to tens of thousands of years; given their small sizes, the longevity of the majority of the water bodies examined ranges from several hundred to several thousand years, i.e. corresponds to the period of continued existence of most Polish lakes, which have emerged at least several thousand years ago (Fig. 50). This demonstrates the extremely fast evolution of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region. Given the anthropogenic stimulation of morphogenetic processes, the pace of development of water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region is clearly faster compared to lakes that are not subject to human pressure.

Owing to the variation in geomorphological processes occurring within water bodies in the Upper Silesia-Dąbrowa Basin region, the natural and economic importance of the sediments and forms that have emerged owing to their existence varies as well. Despite the presence of pollutants, deltas are important from the natural point of view (by e.g. providing habitats, shaping biodiversity and conserving the natural environment) as well as from the socio-economic one (e.g. water purification, the exploitation of anthropogenic deposits, potential locations for cultivating energy crops, usefulness for forestry purposes, land reclamation material). In just a few cases in the region do deltas and natural bottom sediment covers cause problems with the functioning of the water body. Similarly, shore processes generally do not result in difficulties in using the littoral zone and do not affect the economic functions of water bodies; there are few cases of damage to infrastructure, whose scale is usually minute (Photos 15 and 16).

Redakcja: Justyna Szmyt
Projektant okładki: Kamil Gorlicki
Redakcja techniczna: Barbara Arenhövel
Korektor: Aleksandra Gaździcka
Łamanie: Marek Zagniński

Copyright © 2014 by
Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
Wszelkie prawa zastrzeżone

ISSN 0208-6336

ISBN 978-83-8012-174-4
(wersja drukowana)

ISBN 978-83-8012-175-1
(wersja elektroniczna)

Wydawca

Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego
ul. Bankowa 12B, 40-007 Katowice

www.wydawnictwo.us.edu.pl

e-mail: wydawus@us.edu.pl

Wydanie I. Ark. druk 11,0 + wklejka. Ark wyd. 15,0.
Papier offset. III kl., 90 g. Cena 38 zł (+VAT)

Druk i oprawa: „TOTEM.COM.PL Sp. z o.o.” Sp.K.
ul. Jacewska 89, 88-100 Inowrocław

Praca ma charakter opracowania monograficznego, którego głównym celem jest ocena uwarunkowań oraz skali przemian zachodzących w ukształtowaniu mis zróżnicowanych genetycznie zbiorników wodnych w regionie górnośląsko-zagłębiowskim, poddawanych różnym formom presji człowieka. Dużo uwagi poświęcono osadom wypełniającym zbiorniki, m.in. ich zanieczyszczeniu metalami ciężkimi. Praca ta stanowi zwarte wielowątkowe opracowanie oparte na wynikach wieloletnich badań terenowych i laboratoryjnych, poparte wnioskami wypływającymi z analizy cytowanej literatury. Wyniki badań zawarte w monografii wypełniają lukę w literaturze fizyczno-geograficznej poświęconej zmianom w środowisku przyrodniczym zurbanizowanego i uprzemysłowionego regionu górnośląsko-zagłębiowskiego, zwłaszcza w odniesieniu do przemian w ukształtowaniu mis zbiorników wodnych antropogenicznego pochodzenia. Praca ta powinna znaleźć zainteresowanie wśród geografów, geomorfologów i ekologów nie tylko w Polsce.

Więcej o książce



CENA 38 ZŁ
(+VAT)

ISSN 0208-6336
ISBN 978-83-8012-174-4