



Samooczyszczanie wód w procesie tworzenia form deltowych

Martyna A. Rzętała
Uniwersytet Śląski, Sosnowiec

Andrzej Jaguś
Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biala

Mariusz Rzętała
Uniwersytet Śląski, Sosnowiec

1. Wstęp

W sytuacji powszechnej antropopresji na wody powierzchniowe, niezwykle istotna jest ich zdolność do samooczyszczania. Samooczyszczanie zachodzi zarówno w środowiskach prądowych (wodach płynących), jak i limnicznych (wodach stojących). Procesy oczyszczające w wodach płynących są w przewadze związane z chemicznym i biochemicznym utlenianiem, natomiast samooczyszczanie wód stojących polega głównie na sedymentacji cząstek stałych (także tych chemicznie wytrąconych z roztworu). Odrębnym procesem o znaczeniu oczyszczającym, charakterystycznym dla obu środowisk, jest asymilacja zanieczyszczeń przez organizmy żywe.

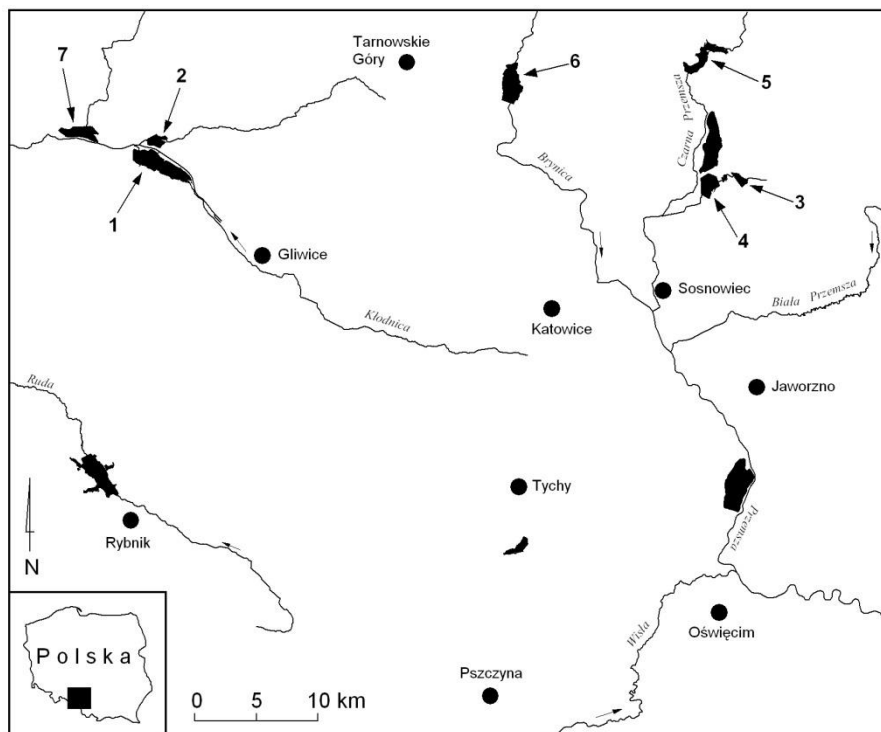
Duże znaczenie dla samooczyszczania wód mają strefy dopływu cieków do zbiorników limnicznych. Dochodzi tu do spadku prędkości płynięcia wody, co sprzyja deponowaniu transportowanego materiału, zarówno unoszonego w wodzie, jak i przemieszczanego po dnie. W efekcie powstają formy deltowe – w małej skali są to stożki napływowe, natomiast w ujściach większych rzek delty. Rzętała [19] ocenia, że 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 wstęp-

nych, przechwytyjących napływający rzeką materiał przed jej dopływem do zbiornika głównego, co ma zapobiegać głównie jego zamulaniu [2].

Opisywane w literaturze badania nad tworzeniem form deltowych koncentrują się raczej na analizie procesów erozyjnych i sedymentacyjnych, i dotyczą zazwyczaj dużych delt formowanych w strefach ujściowych rzek do mórz i oceanów, np. delty Nilu [23], Huang He i Jangcy [12, 21], Mississippi [3], czy Dunaju [22]. Rzadko spotyka się prace na temat delt tworzonych w zbiornikach śródlądowych [13, 15, 20] – analizom poddawane są zazwyczaj całościowe pokrywy osadów dennych w kontekście zamulania zbiorników [10, 25] lub akumulacji zanieczyszczeń w osadach [5, 14]. W niniejszej pracy podjęto problematykę powstawania form deltowych w aspekcie oczyszczania wód. Jako obiekty badań wykorzystano antropogeniczne zbiorniki wodne regionu górnośląskiego, położonego w południowej Polsce (rys. 1). Celem badań było rozpoznanie ilościowo-jakościowej depozycji osadów w rejonie delt i ocena tego procesu w kontekście poprawy zasobów wodnych. Badania te mogą być szerzej wykorzystane do analiz nad zamulaniem zbiorników, a także nad zagrożeniami ekologicznymi związanymi z napływem materii allochtonicznej. Nie pozostają też bez znaczenia dla dyskusji na temat funkcji form deltowych w środowisku przyrodniczym oraz możliwości ich gospodarczego wykorzystania.

2. Metody

Badaniami objęto 7 zbiorników wodnych, w których zaobserwowano występowanie wyraźnych form deltowych w strefach ujściowych zasilających cieków. Były to następujące zbiorniki, położone w północnej części regionu górnośląskiego (rys. 1): Dzierżno Duże zasilany przez Kłodnicę, Dzierżno Małe z dopływającą Dramą, Pogoria I oraz Pogoria III na cieku Pogoria, Przeczyce na rzece Czarna Przemsza, Kozłowa Góra przyjmujący wody Brynicy oraz Pławniowice, do którego uchodzi Potok Toszecki. Zbiorniki te pod względem genetycznym należą do zaporowych, poeksploatacyjno-zaporowych lub poeksploatacyjnych. W przypadku każdego zbiornika rozpoznano cechy środowiskowe obszaru zlewniowego, w tym zwłaszcza formy użytkowania terenu. Analizy przeprowadzono na mapach topograficznych w skali 1:10000 oraz obrazach satelitarnych. Posłużyły one do oceny charakteru antropopresji na środowisko wodne.



Rys. 1. Lokalizacja badanych zbiorników wodnych w regionie górnośląskim: 1 – Dzierżno Duże, 2 – Dzierżno Małe, 3 – Pogoria I, 4 – Pogoria III, 5 – Przeczyce, 6 – Kozłowa Góra, 7 – Pławniowice

Fig. 1. Location of the water reservoirs under research in the Upper Silesian region: 1 – Dzierżno Duże, 2 – Dzierżno Małe, 3 – Pogoria I, 4 – Pogoria III, 5 – Przeczyce, 6 – Kozłowa Góra, 7 – Pławniowice

Prace badawcze, związane już bezpośrednio z kształtowaniem form deltowych, obejmowały działania terenowe oraz analizy laboratoryjne. Ustalenie przeciętnej wielkości dostawy rumowiska przez ciek do stref deltowych zbiorników wymagało określenia przepływu oraz wagowego pomiaru transportowanego przez wodę materiału (przy różnych stanach wody w korycie). Morfometrię stref tworzenia delt i samych delt zarejestrowano z wykorzystaniem tachymetru, teodolitu oraz echosondy. Skład mechaniczny osadów deltowych określono metodą sitową i sitowo-areometryczną, natomiast ich właściwości fizykochemiczne odpowiednimi metodami laboratoryjnymi. Zawartość materii organicznej

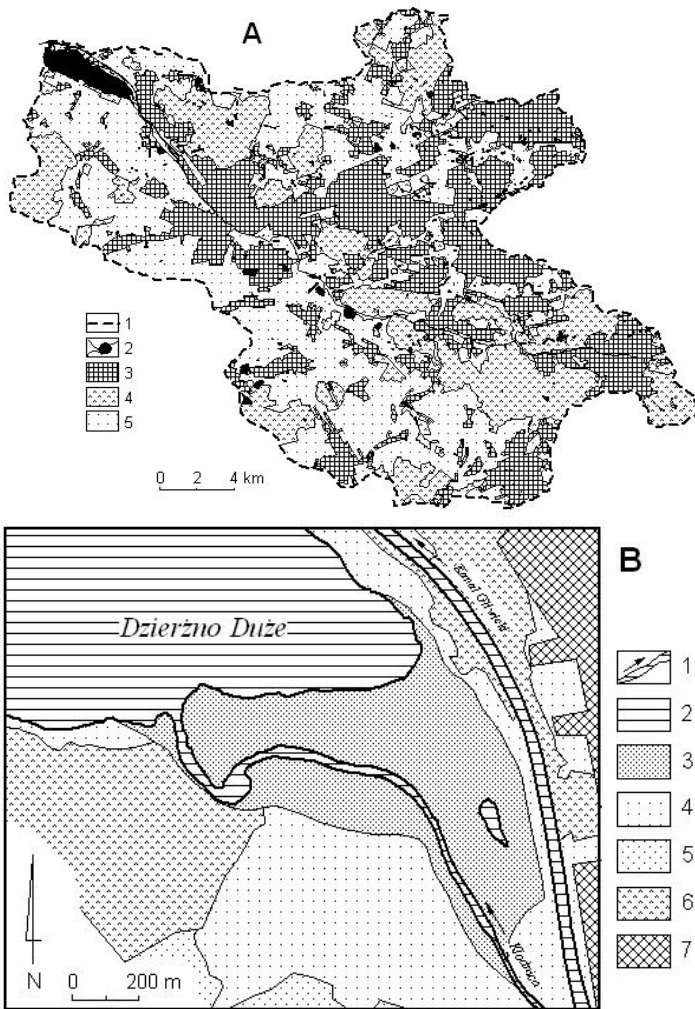
ustalono poprzez stratę wagową podczas prażenia. Oznaczenia w osadach zawartości SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Ba, Sr, Zr, Y, Be i V dokonywano metodą atomowej spektrometrii emisyjnej ze wzbudzeniem plazmowym (ICP) – odpowiednio przygotowana próbka o masie 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 grama, 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 . Zawartość Au, As, Br, Co, Cr, Hf, Hg, Ir, Mo, Rb, Sb, Sc, Se, Ta, Th, U, W, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb i Lu określano metodą instrumentalnej neutronowej analizy aktywacyjnej (INAA) – aparaturę stanowił reaktor badawczy 2MW Pool Type (strumień neutronów termicznych $5 \cdot 10^{11} \text{ n cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; pomiar promieniowania gamma przez detektory Ge ORTEC i CANBERRA typowo po 7 dniach od napromieniowania). Do oznaczenia zawartości Nb, Rb, Pb, Ga, Sn i S wykorzystano metodę rentgenowskiej analizy fluorescencyjnej w próbkach osadu o masie 6 g sprasowanych w pastylki $\phi 32$ mm z alkoholem poliwinylowym jako substancją wiążącą. W niniejszej pracy zostaną przedstawione wyniki dotyczące części z wymienionych analiz.

3. Wyniki i dyskusja

Region górnośląski jest uznawany za jeden z najbardziej zurbanizowanych i uprzemysłowionych regionów Polski, a jego rozwój wynikał z występowania i wydobycia surowców skalnych (węгля kamiennego, rud cynku i ołowiu, piasku, dolomitu i innych). W centralnej części regionu dominuje górnictwo, hutnictwo, przemysł maszynowy i przetwórczy (wraz z towarzyszącym sektorem usług), natomiast obrzeża są zagospodarowane rolniczo. Działalność człowieka powoduje poważne zanieczyszczenie wód płynących [8], co sprzyja (w sytuacji zasilania zbiorników wodnych) tworzeniu form deltowych [20] i ogólnie pokryw osadów dennych [18]. Z uwagi na pojezierny charakter regionu [17], gdzie wiele antropogenicznych zbiorników wodnych to akweny przepływowe, formy deltowe stały się istotnym elementem środowiska geograficznego na tym obszarze.

Tworzenie form deltowych jest bezpośrednio związane z obciążeniem cieków uchodzących do zbiorników. Ilość transportowanego materiału zależy od litologii zlewni, ale w przypadku regionu górnośląskiego w dużym stopniu także od wpływów antropogenicznych – ciek są zanieczyszczane ściekami, wodami technologicznymi, wodami kopalnianymi, spływami erozyjnymi z hałd górniczych bądź agrocenoz itp. W regionie górnośląskim 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 trafia do cieków, a następnie jest przenoszony przez wodę i ulega akumulacji w obrębie form deltowych i głębokowodnych osadów dennych. Przeprowadzone prace wykazały, że ilość materii dopływająca do badanych zbiorników jest zróżnicowana i zależy od charakteru antropopresji na obszarze zlewniowym. Przykładowo ilość wleczyn i toczyn wprowadzanych 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 370000 mg/s do zbiornika Dzierżno Duże (zlewnia miejsko-przemysłowa). Równie duże zróżnicowanie dotyczy transportu zawieszin i unosin, których ilości dopływające do wymienionych zbiorników wynoszą: 1,6 g/s (Pogoria III), 9,2 g/s (Przeczyce), 7,7 g/s (Kozłowa Góra) oraz 448,0 g/s (Dzierżno Duże).

Efektom depozycji transportowanego materiału w badanych zbiornikach są formy deltowe o powierzchni od kilkuset m² do około 1 km². Do uwarunkowań decydujących o ich rozwoju należy zaliczyć morfometrię misy, a zwłaszcza ukształtowanie dna w strefie kontaktu wód rzecznych i limnicznych. Również wahania stanów wody w zbiornikach są istotnym czynnikiem morfotwórczym – amplituda wahań stanów wody wyznacza strefę zmian poziomów bazy erozyjnej, a tym samym przestrzenny zasięg występowania procesów erozyjnych i sedymentacyjnych. Największa forma deltowa powstała w ujściu rzeki Kłodnicy do zbiornika Dzierżno Duże (rys. 2). Powierzchnia tej delty podczas niskiego stanu wody przekracza 1 km², a jej miąższość sięga miejscami nawet kilkanaście metrów. Delta opada ku zbiornikowi stromą krawędzią, przechodząc w pokrywę osadów dennych o miąższości od kilkunastu centymetrów do 1,5 metra. Kubaturę delty szacuje się na nieco ponad 2 mln m³.



Rys. 2. Użytkowanie zlewni zbiornika Dzierżno Duże (A) oraz delta utworzona przez Kłodnicę w tym zbiorniku (B); **A:** 1 – granice zlewni, 2 – wody powierzchniowe, 3 – tereny zurbanizowane (w tym przemysłowe), 4 – tereny leśne, 5 – grunty rolne; **B:** 1 – ciekii, 2 – zbiorniki wodne, 3 – delty, 4 – tereny darniowe, 5 – pola uprawne, 6 – lasy i zadrzewienia, 7 – tereny przemysłowe
Fig. 2. Development in the Dzierżno Duże reservoir catchment (A) and the delta of Kłodnica River in this reservoir (B); **A:** 1 – river catchment boundaries, 2 – surface waters, 3 – urban areas (including industrial), 4 – woodland, 5 – agricultural land; **B:** 1 – watercourses, 2 – water reservoirs, 3 – deltas, 4 – grassland, 5 – arable land, 6 – woodland and forested land, 7 – industrial land

Depozycja wleczyn, toczyn, zawiesin i unosin mineralnych oraz materii organicznej w obrębie form deltowych jest procesem oczyszczającym wodę z cząstek stałych. Kostecki [11] na podstawie badań wykonanych w zbiorniku Dzierżno Duże stwierdził, że w czasie 10–20 minut od momentu wpływu wody w obręb misy zbiornika następuje deponowanie aż 90% cząstek dostarczanego materiału rumowiskowego. Tworzenie form deltowych ma zatem, w pierwszej kolejności, wymiar mechanicznego samooczyszczania wód. W przeprowadzonych badaniach, osady deponowane w obrębie form deltowych poszczególnych zbiorników cechował indywidualizm granularny (tab. 1). W materiale zasadniczo dominowały ziarna o średnicach większych od 0,1 mm. Na uwagę zasługuje wysoki udział cząstek najdrobniejszych (< 0,02 mm) w przypadku form deltowych w zbiornikach Pogoria I i Pogoria III. W świetle piaszczystej litologii zlewni [6] wskazuje to na antropogeniczne obciążenie dopływającego cieku.

Tabela 1. Uśredniony skład mechaniczny osadów deltowych

Table 1. Average mechanical composition of sediments in delta formations

Zbiornik wodny	> 0,1 mm	0,1–0,02 mm	< 0,02 mm
	(% wagowe)		
Dzierżno Duże	67,4	20,1	12,5
Dzierżno Małe	52,5	25,4	22,1
Pogoria I	63,3	9,3	27,4
Pogoria III	59,0	8,0	33,0
Przeczyce	57,8	24,0	18,2
Kozłowa Góra	44,0	27,3	28,7
Pławniowice	72,8	11,4	15,8

Depozycja cząstek stałych w obrębie form deltowych a następnie dna zbiorników skutkuje, między innymi, ujemnym bilansem ładunku zawiesin w relacji dopływ-odpływ w przypadku większości badanych zbiorników. Według danych Rzętały [16], średniorocznie do zbiornika Dzierżno Duże dopływa 47000 ton zawiesin, a odpływa zaledwie 1797 ton. Dla Dzierżna Małego wartości te wynoszą 1055 i 639 ton, dla Przeczyce 905 i 547 ton, a dla Pławniowic 636 i 315 ton.

W obrębie form deltowych deponowane są oprócz związków mineralnych także substancje organiczne. Jest to istotne dla poprawy

i ochrony jakości wód, gdyż przedostająca się do zbiorników materia organiczna jest, między innymi, odpowiedzialna za zużycie rozpuszczonego tlenu, czy też wydzielanie substancji toksycznych w warunkach rozkładu beztlenowego. Analizy (prażenie) materiału osadowego badanych form wykazały obecność substancji organicznych średnio w ilości od 7,06% w przypadku zbiornika Pogoria I do 48,74% w delcie Kłodnicy (tab. 2). Tak duża strata przy prażeniu dla osadu ze zbiornika Dzierżno Duże wynika ze znacznego udziału w jego składzie miazgu węglowego. Z tego też względu osady deltowe Dzierżna Dużego są eksploatowane na dużą skalę z przeznaczeniem na cele energetyczne. Z rumoszu wydziela się frakcję przydatną energetycznie, która stanowi około 70–80% osadu. W efekcie procesów uzdatniających uzyskuje się paliwo spełniające wymogi paliwa węglowego, charakteryzujące się wartością opałową rzędu 10000–10500 kJ/kg [1]. Eksploatacja delty przeciwdziała jednocześnie zamulaniu zbiornika.

Tabela 2. Skład podstawowy osadów form deltowych – zakres wartości
Table 2. Basic composition of deltas sediments – values range

Zbiornik wodny	SP*	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅
	[%]						
Dzierżno Duże	6,90–58,89	13,19–79,94	4,45–16,86	2,60–32,22	0,43–6,14	0,83–2,51	0,07–7,74
Dzierżno Małe	19,17–34,47	26,27–48,36	5,57–9,78	2,57–4,16	12,37–26,81	0,81–1,70	0,20–0,39
Pogoria I	0,12–13,57	56,95–71,05	11,50–14,80	7,56–10,09	2,01–2,24	1,80–2,62	0,19–0,29
Pogoria III	7,78–10,77	61,25–71,05	7,91–14,80	2,83–5,64	2,74–4,43	1,91–2,61	0,09–0,13
Przeczyce	18,65–33,78	37,66–56,03	7,76–9,78	5,23–6,73	5,13–9,98	1,17–1,70	0,31–0,82
Kozłowa Góra	23,84–27,49	51,11–60,36	8,08–8,38	3,49–6,08	1,35–2,41	1,23–1,31	0,29–0,31
Pławniowice	3,24–33,07	24,97–82,80	3,66–11,07	2,09–3,68	0,58–29,75	0,70–2,26	0,09–0,43

*SP – strata przy prażeniu / loss on ignition

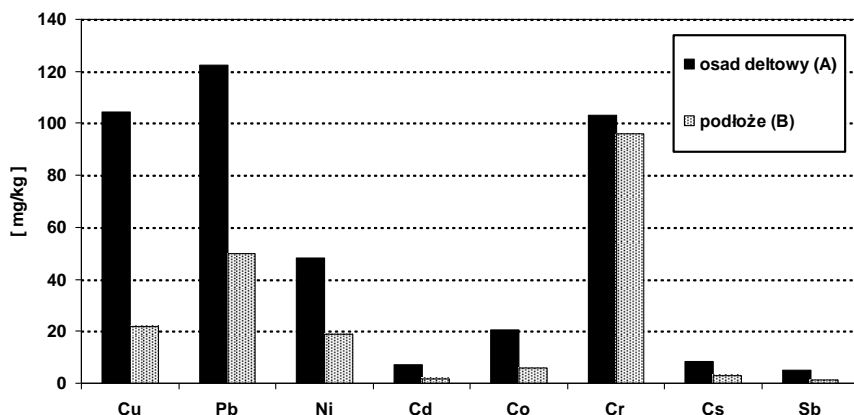
Obok materii organicznej, materiałem budulcowym form deltowych są głównie SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (jako podstawowe minerały lub ich komponenty), a także związki wapnia, potasu i fosforu (tab. 2). Ich udział zależy od litologii zlewni oraz charakteru wpływów antropogenicznych. Odzwierciedla to np. ponad 60% średni udział dwutlenku krzemu w osadach nanoszonych przez Pogorię, której podłoże zlewniowe stanowią w przewadze piaski fluwioglacjalne. Z kolei duży udział wapnia w osadzie deltowym zbiornika Dzierżno Małe wynika z występowania w budowie geologicznej zlewni Dramy węglanowych utworów triasowych, aczkolwiek częściowo może być też pochodną antropopresji rolniczej – prawie 80% obszaru zlewni zbiornika zajmują grunty o charakterze rolniczym. Na większości z nich, na utworach czwartorzędowych, wykształcone są gleby wymagające wapnowania i stosowania odpowiednich nawozów, np. saletry wapniowej. Są to gleby bielcowe i pseudobielcowe (na glinach, piaskach i żwirach glacialnych) oraz brunatne wyługowane (na glinach). Wyługowanie węglanów jest też charakterystyczne dla czarnych ziemi zdegradowanych (wykorzystanych głównie pod użytki zielone, a wykształconych na utworach piaszczysto-gliniastych). Wywiady środowiskowe potwierdzają dbałość właścicieli gruntów o zapobieganie pogłębianiu zakwaszenia gruntów (poprzez właściwą agrotechnikę), co jest postulowane przez służby rolno-środowiskowe ze względu na możliwość zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi w tym rejonie, pozostającym w zasięgu emisji ośrodków przemysłowych – Gliwic, Zabrze, Bytomia, Tarnowskich Gór. Tym samym możliwe jest narażenie środowiska wodnego na obciążenie materiałem nawozowym z udziałem wapnia. Szczególnie istotne dla poprawy jakości wód uchodzących do zbiorników jest akumulowanie w osadach deltowych związków fosforu. 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, wspólnie z pokrywami osadów dennych, można zatem traktować jako środowisko przynajmniej okresowego unieruchomienia fosforu. Badania Jagusia i Rzętały [7] wykazały, że przepływ wód cieków przez zbiorniki wodne, bez względu na charakter antropogenicznych oddziaływań zlewniowych, skutkuje zmniejszeniem ładunku fosforu w relacji dopływ-odpływ.

Samooczyszczanie wody z cząstek stałych deponowanych w obrębie form deltowych jest równoczesne ze zmniejszeniem obciążenia zasorbowanymi na zawiesinach pierwiastkami śladowymi. Pierwiastki śladowe (w tym metale ciężkie) należą do mikrozanieczyszczeń sorbowanych w środowisku wodnym przez zawiesiny mineralne (np. minerały ilaste, wodorotlenki żelaza) oraz żywą i martwą materię organiczną (np. glony, związki humusowe). Stąd też ich duże koncentracje występują zwłaszcza w różnorodnych osadach [24]. Förstner i Witmann [4] dowiedli, że w układzie: woda – zawiesina – osad dennny, największy procent całkowitej zawartości metali ciężkich przypada właśnie na osad dennny. W badanych osadach zarejestrowano zróżnicowaną zawartość pierwiastków śladowych (tab. 3), zależną niewątpliwie od antropogenicznych uwarunkowań zlewniowych. Przykładowo bardzo wysoką koncentrację cynku w osadach deltowych ze zbiornika Kozłowa Góra można wiązać z położeniem zlewni w sąsiedztwie regionu tarnogórskiego utożsamianego m.in. z przetwórstwem rud tego pierwiastka. Z kolei najwyższą zawartość chromu odnotowano w osadach deltowych ze zbiornika Pogoria I, co może być efektem oddziaływania pobliskiego kombinatu hutniczo-metalurgicznego „Huta Katowice”. Z prezentowanych danych wynika (tab. 3), że poziom zanieczyszczenia pierwiastkami badanych osadów deltowych często przekraczał (zwłaszcza dla ołowiu, cynku i kadmu) tzw. tło geochemiczne, czyli naturalne zawartości typowe dla wszystkich rodzajów skał osadowych [9].

Oczyszczanie wody z ładunku wielu pierwiastków śladowych, a zwłaszcza metali ciężkich, poprzez ich depozycję w obrębie form deltowych potwierdza analiza porównawcza zawartości pierwiastków w osadzie deltowym oraz w osadzie podłoża, na którym uformowała się delta. Analizę taką przeprowadzono dla delty Kłodnicy w zbiorniku Dzierżno Duże. Wyniki badań dowiodły wyraźnej akumulacji części pierwiastków w osadzie deltowym – w podłożu ich koncentracje były znacznie niższe (rys. 3). Na antropogeniczny charakter osadu delty Kłodnicy, który można określić mianem złoża antropogenicznego, wskazuje też bardzo duża różnica w zawartości materii organicznej pomiędzy osadem deltowym a podłożem – w tym pierwszym strata prażenia wyniosła średnio 48,74%, a dla osadu podłoża była równa zaledwie 8,15%.

Tabela 3. Zawartość mikroelementów w osadach deltowych – zakres wartości
Table 3. Concentration of trace elements in deltas sediments – values range

Zbiornik	Ba	As	Cu	Pb	Zn	Ni	Cd
	[mg/kg]						
Dzierżno Duże	369–2160	7,0–74,0	9,0–314,0	8,0–1620,0	71–4790	14,0–111,0	0,5–51,8
Dzierżno Małe	386–483	12,0–13,0	19,0–28,0	56,0–88,0	288–480	19,0–32,0	2,1–3,3
Pogoria I	723–750	19,0–30,0	39,0–67,0	209,3–429,0	1258–2338	44,0–52,0	14,6–29,0
Pogoria III	388–464	8,0–13,0	12,0–25,0	35,0–61,0	142–221	19,0–42,0	0,7–1,4
Przeczyce	451–533	15,5–43,0	29,5–37,0	355,5–549,0	1336–2038	25,5–29,8	9,6–15,3
Kozłowa Góra	807–1353	31,0–51,0	22,0–98,0	335,0–623,0	761–2697	18,0–35,0	8,5–27,6
Pławniowice	347–418	7,0–20,0	13,0–28,6	17,0–146,0	42–508	18,0–30,5	0,7–17,7
<i>Skąły osadowe [9]</i>	<i>50–800</i>	<i>1–13</i>	<i>2–60</i>	<i>3–40</i>	<i>10–120</i>	<i>5–90</i>	<i>0,04–0,30</i>
Zbiornik	Co	Cr	Cs	La	Ce	U	Th
	[mg/kg]						
Dzierżno Duże	6,0–99,0	58,0–155,0	2,6–134,0	16,9–69,1	32,0–241,0	1,5–6,9	5,3–20,4
Dzierżno Małe	10,0–17,0	45,0–86,0	3,8–5,3	16,8–33,0	32,0–71,0	2,0–3,6	4,3–10,3
Pogoria I	21,0–23,0	122,0–150,0	7,8–11,4	55,5–72,1	103,0–129,0	3,6–5,1	13,7–15,5
Pogoria III	11,0–19,0	92,0–111,0	4,0–11,3	40,1–44,3	86,0–99,0	3,6–4,6	12,7–13,9
Przeczyce	15,0–15,0	73,0–92,0	6,7–8,5	27,6–36,1	53,0–67,0	3,0–3,0	7,7–10,7
Kozłowa Góra	11,0–21,0	70,0–78,0	3,8–6,4	32,3–34,1	63,0–65,0	3,8–6,8	9,1–9,6
Pławniowice	8,0–15,0	36,0–101,50	2,2–7,3	15,4–51,0	28,0–94,0	1,8–5,0	4,1–15,0
<i>Skąły osadowe [9]</i>	<i>0,1–20,0</i>	<i>5–120</i>	<i>0,5–10,0</i>	<i>4–90</i>	<i>7–90</i>	<i>0,45–4,10</i>	<i>1,7–12,0</i>



Rys. 3. Zawartość wybranych pierwiastków śladowych w osadach delty Kłodnicy (A) i osadach podłoża (B)

Fig. 3. Concentration of selected trace elements in Kłodnica delta sediment (A) and underdelta sediment (B)

Z przedstawionych materiałów wynika, że osady deltowe charakteryzują się dużą zasobnością w składniki mineralne i organiczne, w tym pokarmowe związki azotu i fosforu. Stąd też delty podlegają sukcesjom roślinnym. Podczas badań zaobserwowano, że gatunkiem dominującym w porastaniu powierzchni deltowych była trzcina pospolita (*Phragmites australis*). Rozwój roślinności może być postrzegany jako dodatkowy proces służący oczyszczaniu środowiska wodnego w wyniku asymilacji biologicznej substancji mineralnych. Niejednokrotnie roślinność pełni rolę biofiltra dla wody przesączającej się lub stagnującej w obrębie delty. Warto dodać, że formy deltowe pełnią – oprócz funkcji oczyszczającej – wiele innych funkcji w środowisku przyrodniczym. Są to między innymi: podniesienie retencyjności pobliskiego obszaru, kształtowanie nowych miejsc siedliskowych, zwiększanie bioróżnorodności terenów. Formy deltowe, zwłaszcza porośnięte roślinnością szuwarową, stanowią korzystne miejsca dla rozrodu ryb i ptactwa, dla którego stanowią też atrakcyjne miejsca zimowania, gdyż dopływające wody często nie zamarzają. Przykładem delty tworzącej siedlisko o wysokich walorach przyrodniczych jest delta w zbiorniku Kozłowa Góra, która wraz z obrzeżami uzyskała status krajowej ostoi ptaków. Osobną problematyką jest możliwość gospodarczego wykorzystywania osadów deltowych, np. jako: kruszywa do celów budowlanych i drogowych, surowca do produkcji nawozów or-

ganicznych, leczniczych peloidów, materiału do celów rekultywacyjnych, nawozowego osadu ściekowego.

4. Wnioski

W regionie górnośląskim formy deltowe są istotnym elementem środowiska geograficznego. Ich dynamicznemu rozwojowi sprzyja znaczne obciążenie zanieczyszczeniami cieków uchodzących do licznych, antropogenicznych zbiorników wodnych.

Osady deltowe tylko częściowo posiadają cechy podłoża zlewniowego formujących je cieków. W zależności od wpływów antropogenicznych są zasobne w produkty uboczne przeróbki kopalin, substancje nawozowe, pierwiastki śladowe i inne zanieczyszczenia. Koncentracje wielu substancji w osadach deltowych są wyższe od znamienych dla naturalnego składu geochemicznego skał osadowych.

Tworzenie delt ma bezpośredni związek z samooczyszczaniem wód płynących. Proces samooczyszczania najlepiej odzwierciedla depozycja znacznego ładunku cząstek stałych, mające charakter oczyszczania mechanicznego.

Depozycja materiału mineralnego i organicznego jest jednocześnie procesem unieruchamiającym (przynajmniej okresowo) w obrębie delt substancje pokarmowe (zwłaszcza związki fosforu) oraz pierwiastki śladowe, w tym metale ciężkie. Roślinność porastająca formy deltowe, pełniąc rolę biofiltra, przyczynia się do utylizacji związków biogenicznych i mikrozanieczyszczeń w procesie asymilacji biologicznej.

Formy deltowe stanowią ekosystemy korzystnie oddziałujące na jakość zasobów wodnych regionu górnośląskiego, tworząc w wielu przypadkach siedliska o charakterze wodno-błotnym.

Badania zostały sfinansowane ze środków Narodowego Centrum Nauki

Literatura

1. *Charakterystyka paliwa węglowego pozyskanego ze zbiornika Dzierżno Duże, Portu Gliwickiego oraz sekcji 6 i 5 Kanału Gliwickiego*. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej. Główny Instytut Górnictwa, Katowice, 2004.
2. **Czamara A., Grzešków L.:** *Ocena skuteczności działania zbiornika wstępnego w Mściwojowie*. Inżynieria Ekologiczna, 18, 270–271 (2007).

3. **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.:** *Implications of global climatic change and energy cost and availability for the restoration of the Mississippi delta.* Ecological Engineering, 24, 253–265 (2005).
4. **Förstner U., Witmann G.T.W.:** *Metal pollution in the aquatic environment.* Springer Verlag, Berlin, 1981.
5. **Jaguś A., Khak V., Rzętała M.A., Rzętała M.:** *Trace elements in the bottom sediments of the Irkutsk Reservoir.* Ecological Chemistry and Engineering A, 19(8), 939–950 (2012).
6. **Jaguś A., Rzętała M.:** *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, ss. 152 (2008).
7. **Jaguś A., Rzętała M.:** *Hydrochemiczne konsekwencje zasilania zbiorników przepływowych wodami zanieczyszczonymi.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set of Environment Protection), 14, 632–649 (2012).
8. **Jaguś A., Rzętała M., Rahmonov O., Rzętała M.A., Machowski R.:** *River water pollution in areas in southern Poland with various types of anthropopressure.* Teka Komisji Ochrony i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, 9, 70–79 (2012).
9. **Kabata-Pendias A., Pendias H.:** *Biogeochemia pierwiastków śladowych.* PWN, Warszawa, ss. 398 (1999).
10. **Karnaukhova G.A.:** *Belt zoning of sedimentation in the Angara Cascade Reservoirs.* Geochemistry International, 49(6), 605–617 (2011).
11. **Kostecki M.:** *Zawiesina jako element zanieczyszczenia antropogenicznego ekosystemu wodnego na przykładzie zbiornika zaporowego Dzierżno Duże (woj. śląskie).* Archiwum Ochrony Środowiska, 26, 75–94 (2000).
12. **Liu S., Zhang W., He Q., Li D., Liu H., Yu L.:** *Magnetic properties of East China Sea shelf sediments off the Yangtze Estuary: Influence of provenance and particle size.* Geomorphology, 119, 212–220 (2010).
13. **Łajczak A.:** *Deltas in dam-retained lakes in the Carpathian part of the Vistula drainage basin.* Prace Geograficzne Uniwersytetu Jagiellońskiego, 116, 99–109 (2006).
14. **Roach A.C.:** *Assessment of metals in sediments from Lake Macquarie, New South Wales, Australia, using normalisation models and sediment quality guidelines.* Marine Environmental Research, 59, 453–472 (2005).
15. **Romashkin P.A., Williams D.F.:** *Sedimentation history of the Selenga Delta, Lake Baikal: simulation and Interpretation.* Journal of Paleolimnology, 18, 181–188 (1997).

16. **Rzętała M.:** *Funkcjonowanie zbiorników wodnych oraz przebieg procesów limnicznych w warunkach zróżnicowanej antropopresji na przykładzie regionu górnośląskiego.* Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, ss. 172 (2008).
17. **Rzętała M., Jaguś A.:** *New lake district in Europe: origin and hydrochemical characteristics.* Water and Environment Journal, 26(1), 108–117 (2012).
18. **Rzętała M.A.:** *Procesy brzegowe i osady denne wybranych zbiorników wodnych w warunkach zróżnicowanej antropopresji (na przykładzie Wyżyny Śląskiej i jej obrzeży).* Wyd. Uniwersytetu Śląskiego, Katowice, ss. 147, 2003.
19. **Rzętała M.A.:** *Role of sedimentation in anthropogenic reservoirs in purification of flowing waters.* Polish Journal of Environmental Studies – Series of Monographs, 3, 51–57 (2009).
20. **Rzętała M.A., Machowski R., Rzętała M.:** *Sedymentacja w strefie kontaktu wód rzecznych i jeziornych na przykładzie zbiorników wodnych regionu górnośląskiego.* Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec, ss. 80 (2009).
21. **Saito Y., Yang Z., Hori K.:** *The Huanghe (Yellow River) and Changjiang (Yangtze River) deltas: a review on their characteristics, evolution and sediment discharge during the Holocene.* Geomorphology, 41, 219–231 (2001).
22. **Stanica A., Dan S., Ungureanu V.G.:** *Coastal changes at the Sulina mouth of the Danube River as of human activities.* Marine Pollution Bulletin, 55, 555–563 (2007).
23. **Stanley D.J.:** *Nile delta: extreme case of sediment entrapment on a delta plain and consequent coastal land loss.* Marine Geology, 129, 189–195 (1996).
24. **Świdarska-Bróż M.:** *Mikrozanieczyszczenia w środowisku wodnym.* Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, ss. 144 (1993).
25. **Verstraeten G., Bazzoffi P., Lajczak A., Radoane M., Rey F., Poesen F., De Vente J.:** *Reservoir and Pond Sedimentation in Europe.* In: Boardman J., Poesen J. (Eds.): Soil Erosion in Europe. John Wiley & Sons Ltd., Oxford, 757–774 (2006).

Self-purification of Waters During Creation of Delta Forms

Abstract

The article concerns the self-purification of running waters in areas where they flow into water bodies. At such places, delta forms (alluvial fans, deltas) are created that are built up of the material accumulated by the watercourse. The study was conducted in the Upper Silesia region in southern Poland and concerned delta forms created in seven water bodies (Dzierżno Duże, Dzierżno Małe, Pogoria I, Po-

goria III, Przeczyce, Kozłowa Góra, Pławniowice). The choice of the Upper Silesia region as the study area was dictated by the specific process whereby delta forms are created. In this region, which is among the most urbanised and industrialised in Poland, which results in most polluted surface waters. Running waters are heavily burdened with wastewater, by-products from processing minerals (particularly coal dust), technological water, sewage sludge, fertilisers, etc. The deposition of pollutants in river mouths leads to the rapid creation of delta forms with areas ranging from several hundred square metres to around 1 sq. km. The largest delta form has been created at the place where the Kłodnica River enters the Dzierżno Duże reservoir. During low water its area exceeds 1 sq. km and its thickness exceeds ten metres in some places. The overall volume of the Kłodnica River delta is estimated to be slightly over 2 million cu. m.

Owing to the deposition that is taking place, running waters are subject to self-purification, particularly with respect to the solid particles they carry. This is a mechanical purification process. Apart from mineral substances, a significant amount of organic matter transported by the river is also deposited. The composition of delta sediments only partly reflects the characteristics of the substrate present in the catchments of the rivers that form the deltas in question, and the deposits often exhibit anthropogenic features. Delta sediments are a material that includes a large amount of organic matter, nutritional substances (mainly phosphorus compounds) and trace elements, including heavy metals. Concentrations of many elements exceed the levels characteristic of the natural geochemical background of sedimentary rocks. Therefore pollutants are immobilised, at least temporarily, during the process of creating the delta form, which protects the quality of the water in the water bodies. This purification effect is amplified by the vegetation overgrowing the deltas, which is dominated by common reed. This vegetation serves as a biological filter for waters that filter through it or remain stagnant, removing many pollutants by way of biological assimilation. Apart from their significance for water self-purification, deltas are important from the point of view of reducing the silting up of water bodies. Delta forms perform many functions in the natural environment as well. These include increasing the retention capacity of the surrounding area, shaping new habitats and increasing local biodiversity.