ZANIECZYSZCZENIE OSADÓW RZECZNYCH W KRAJACH UNII EUROPEJSKIEJ I ICH ZNACZENIE W ZARZĄDZANIU W SYSTEMIE ZLEWNIOWYM

Contamination of river sediments in European Union Countries and their functions in river basin management

Edeltrauda HELIOS-RYBICKA & Urszula ALEKSANDER-KWATERCZAK

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Geologii Ogólnej, Ochrony Środowiska i Geoturystyki; al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: aleksa@geolog.geol.agh.edu.pl

Abstract: Status of WFD sediment issues in EU and requirements for decision-making for sediment management at the river basin scale are described. This work reviews the river sediments contamination with heavy metals from historical contaminated areas in Europe. The distribution of metals concentration in the Elbe, and Oder Rivers sediments showed that their sources are the former and present mining and smelting activities.

Key words: historical contaminated sediments, Europe, heavy metals, river basin management **Słowa kluczowe:** historycznie zanieczyszczone osady, Europa, metale ciężkie, zarządzanie zlewniowe

WSTĘP

Osady stanowią ważną, integralną i dynamiczną część zbiornika rzecznego. Pozwalają na istnienie w nim życia, ale równocześnie stanowią pułapkę dla wielu niebezpiecznych składników w tym metali ciężkich (Brils 2008). Jednym z najważniejszych warunków osiągnięcia dobrego stanu ekologicznego środowiska wodnego jest eliminacja lub ograniczenie emisji najbardziej niebezpiecznych substancji emitowanych przez przemysł. Ramowa Dyrektywa Wodna (2000/60/WE) zawiera wykaz substancji priorytetowych, stanowiących poważne zagrożenie dla środowiska wodnego, a za pośrednictwem wody również dla ludzi. Są wśród nich m.in. niebezpieczne pestycydy i metale ciężkie (Cd, Pb, Hg, Cu i Ni). Wśród substancji priorytetowych wyróżnia się grupę "niebezpiecznych substancji priorytetowych" np. kadm, rtęć, benzo(a)piren, które powinny zostać całkowicie wyeliminowane ze środowiska, ze względu na wysoką toksyczność oraz trwałość w środowisku.

W obecnie obowiązującym tekście dyrektywy brak jest informacji dotyczących monitoringu osadów rzecznych. Ciągle trwa dyskusja nad tekstem zapisów i ich modyfikacji w odniesieniu do środowiskowego znaczenia osadów wodnych, zarówno jeśli chodzi o ich jakość, jak i ilość. Opublikowanych zostało wiele artykułów (np. Förstner 2002, Crane 2003, Brils 2004, 2008, Quevauviller 2006) i odbyło się wiele spotkań i dyskusji (min. podczas konferencji European Sediment Network SedNet) podkreślających ważną rolę jaką pełnią osady w systemie wodnym, a w związku z tym potrzebę ich monitoringu. W konsekwencji pojawiła się poprawka do tekstu dyrektywy (KOM 871 2007), która przewiduje możliwość monitorowania norm jakości w osadach i/lub w faunie i florze zamiast w wodzie. Forum Doradcze ds. Substancji Priorytetowych i Kontroli Zanieczyszczeń włączyło specyficzne źródła/drogi "historycznych zanieczyszczeń z osadów" do programu pomiarów, który ma być ustalony jeszcze w 2009 roku (Förstner 2008a). W dyrektywie zwrócono szczególną uwagę na konieczność prowadzenia zintegrowanego zarządzania w systemie całej zlewni, a nie jak dotychczas w granicach administracyjnych czy politycznych. W czasie ostatniej dekady toczy się dyskusja na temat zarządzania osadami w systemie zlewniowym zlewni największych rzek w Europie.

Celem naszej pracy jest przedstawienie stanu zanieczyszczenia metalami ciężkimi osadów wybranych Europejskich rzek z obszarów historycznej działalności górnictwa i hutnictwa, na tle założeń do zarządzania osadami w systemie zlewniowym.

ZARZĄDZANIE OSADAMI WODNYMI W SYSTEMIE ZLEWNIOWYM

Osady jako integralna i dynamiczna część systemu wodnego, odgrywają główną rolę w hydrologicznym, geomorfologicznym i ekologicznym funkcjonowaniu zlewni rzecznej. Ważna jest dynamika osadu oraz wzajemne oddziaływania między osadem a zanieczyszczeniami w systemach rzecznych. Jak się przypuszcza, zmiany klimatu mogą powodować regionalne zmiany hydrologiczne a także istotne zmiany w procesach erozji, transportu i depozycji osadów (Salomons 2005, Ciszewski 2006, Westrich & Förstner 2007). Od kilku lat trwa dyskusja nad Europejską Dyrektywą Wodną i jej poprawianie w odniesieniu do środowiskowych funkcji osadów wodnych, zarówno jeśli chodzi o ich jakość jak i ilość. Generalnie, działania dotyczące ochrony wód powierzchniowych przed zanieczyszczeniami, powinny uwzględniać jakość osadów rzecznych w systemie zlewniowym. Wymagania kluczowe dla podejmowania decyzji przy zarządzaniu osadami rzecznymi w takim systemie zostały omówione bardzo szczegółowo w książce wydanej pod redakcją Owensa (2008) i bardzo interesująco zrecenzowanej przez Förstnera (2008b). Są one następujące:

- identyfikacja wielu funkcji osadu w obrębie zlewni rzecznej i uznanie, że zlewnia rzeczna reprezentuje najwłaściwszą jednostkę do zarządzania i podejmowania odpowiednich decyzji, tak aby zachować te funkcje lub oddziaływać na nie;
- 2) opracowanie ramowych działań zarządzania osadami, dotyczących potrzeb zarówno specyficznych miejsc jak i całego systemu zlewni;
- 3) zrozumienie i ocena odpowiednich zaleceń legislacyjnych dlaczego i czy powinno się zarzadzać osadami;
- 4) zrozumienie przemieszczania się osadów wraz z zanieczyszczeniami w obrębie zlewni rzecznej i tego jak one reagują na naturalne i antropogeniczne zmiany;

- 5) użycie właściwych narzędzi do zgromadzenia odpowiednich informacji, co wymaga zrozumienia systemu osad – zanieczyszczenie zarówno obecnie jak i w przyszłości oraz uczestnictwa w zmieniających się kosztach i korzyściach z zastosowanych opcji zarządzania:
- 6) zidentyfikowanie udziałowców i wciągnięcie ich w działania decyzyjne.

W początkowym etapie procesu zarządzania osadem, jak sugeruje Owens (2005), wymagane jest zidentyfikowanie i oszacowanie: (1) rodzaju użytkowania osadów i samych użytkowników zlewni rzecznej, (2) zróżnicowanych środowisk w obrębie zlewni, (3) źródeł osadów i związanych z nimi zanieczyszczeń oraz (4) drogi transportu, depozycji i zmiennego przemieszczania osadów z zanieczyszczeniami pomiędzy tymi środowiskami.

Końcowy etap zarządzania osadem, pomijając czynniki ekonomiczne i socjalne, dotyczy głównie działań inżynierskich, a najważniejszymi ich elementami są: możliwości techniczne, redukcja zanieczyszczeń, trwałość przyjętych opcji remediacji, np. kapsułkowanie, traktowanie *in situ*, oraz bagrowanie i deponowanie osadów (Bortone & Palumbo 2007).

Dodatkowe problemy, szczególnie ekonomiczne, pojawiają się przy ocenie oddziaływania historycznie zanieczyszczanych osadów na daną zlewnię rzeczną. Bardzo dokładne badania zostały zainicjowane przez porty Rotterdam i Hamburg, odpowiednio dla rzeki Ren i rzeki Łaby (Heise & Förstner 2007). Przykładowo, ogromne starania podjęte zostały w zlewni Łaby, w celu przeprowadzenia remediacji obszarów pozostałych po górnictwie w byłej NRD. W ciągu ostatnich 15 lat, ponad 6 bilionów EURO wydano na remediację obszarów po górnictwie uranu (300 milionów m³ odpadów na hałdach i 160 milionów m³ szlamów radioaktywnych) oraz 10 bilionów EURO na rekultywację ponad 200 odkrywkowych kopalń węgla w środkowej zlewni rzeki Łaby. Oprócz tego poważnym problemem jest tzw. Chemiczny Trójkąt wokół Bitterfeld z pozostałościami działalności przemysłowej: gleby i osady o powierzchni 60 km² na obszarach zalewowych rzeki Mulde i osadniki Spittelwasser zawierają ekstremalnie wysokie koncentracje dioksyn, które mogą być transportowane w dół rzeki aż do portu w Hamburgu. Szacuje się, że jeden z osadników zawierający 5 000 m³ z przeciętną ilością 20 000 ng TEQ dioksan/kg osadu, może zanieczyścić 10 milionów m³ osadów rzeki Łaby z ilością do 10 ng TEQ dioksan/kg osadu (Förstner 2008, Heise *et al.* 2008).

ZANIECZYSZCZENIE OSADÓW RZECZNYCH

Poziom zanieczyszczenia osadów rzecznych jest potęgowany historyczną i współczesną działalnością przemysłu górniczego i hutniczego (Aleksander-Kwaterczak & Helios Rybicka 2009).

Zgodnie z Geochemical Atlas of Europe (Salminen 2005), najbardziej zanieczyszczone kadmem (>0.51 mg/kg) osady występują w rzekach przepływających przez większą część Wielkiej Brytanii, Belgię, Norwegię, przez północną i centralną część Niemiec, Republikę Czech, południowo-zachodnią Polskę oraz Łotwę. W przypadku miedzi najwyższe koncentracje (>27 mg/kg) występują w osadach rzek Albanii, Grecji, północnych Włoch, Francji, południowej Sardynii, południowej Hiszpanii, północno-zachodniej Austrii oraz w centralnej części Niemiec. Ołów w najwyższych ilościach (>31 mg/kg) stwierdzono w osadach rzek Wielkiej Brytanii, południowej Norwegii, Francji, południowo-zachodniej części Niemiec i północnej części Republiki Czech. Natomiast najwyższe ilości cynku (>109 mg/kg) pojawiaja

się w osadach rzek centralnej Finlandii, połud-niowej Szwecji, południowej Sardynii, Grecji, Republice Czech, w Niemczech, Polsce, Słowacji, Wielkiej Brytanii, Belgii, Portugalii i Hiszpanii.

W Polsce, głównymi źródłami metali ciężkich w zlewni rzeki Odry jest górnictwo i hutnictwo miedzi, zlokalizowane na Dolnym Śląsku. W latach 1977–2000 przeprowadzone zostały szerokie badania koncentracji metali w wodzie, zawiesinie i osadach rzeki Odry i jej dopływów. Otrzymane wyniki wskazują na znaczące zanieczyszczenie wszystkich komponentów rzecznych Zn, Pb a szczególnie Cd (Tab. 1).

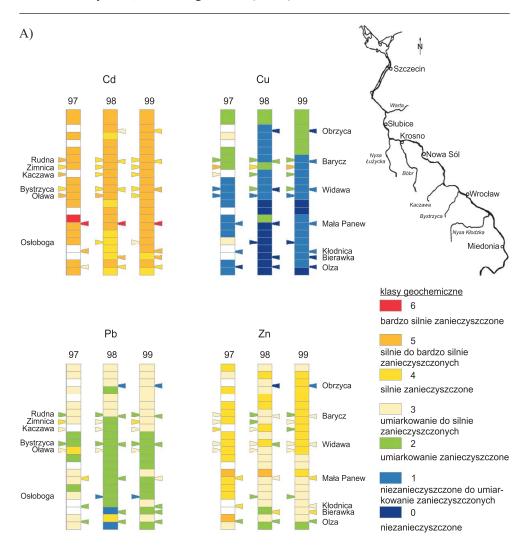


Fig. 1. Stopień zanieczyszczenia osadów wodnych dla wybranych metali: A) zlewnia Odry; B) zlewnia Łaby (Müller & Furrer 1998), wyrażone klasami geochemicznymi I_{geo} (patrz Müller 1979)

Porównanie klas czystości osadów zlewni Odry wyrażone klasami geochemicznymi I_{geo} (Müller 1979) przedstawiono na figurze 1A. Badania zanieczyszczeń w osadach Odry i jej dopływów wykazały bardzo wysokie zawartości metali zmieniające się w granicach [mg/kg]: Zn 122÷3133, Pb 19÷418, Cu 15÷1276, Cd 0.6÷92. Najwyższe ilości stwierdzono w rejonie LGOM, Wrocławia oraz Chałupek (Adamiec *et al.* 2002). Najwyższe koncentracje Cd, Pb i Zn stwierdzono w osadach dopływu odrzańskiego Małej Panwi (Tab. 1), gdzie eksploatacja rud Pb–Zn miała miejsce już w XV wieku (Aleksander-Kwaterczak 2007, Aleksander-Kwaterczak & Helios-Rybicka 2009).

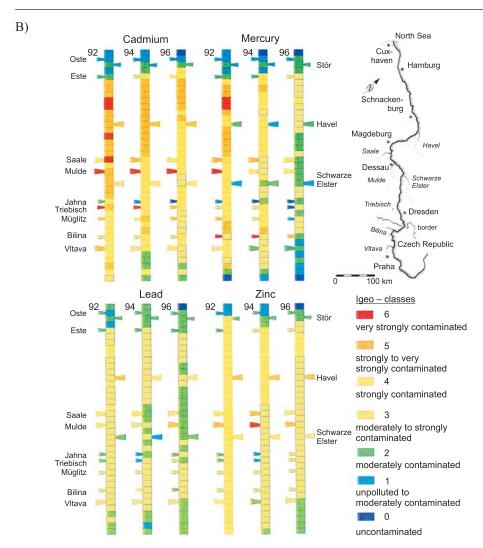


Fig. 1. Aquatic sediments contamination with selected metals: A) the Oder catchment; B) the Elbe catchment (Müller & Furrer 1998), based on I_{geo} Index (*vide* Müller 1979)

Tabela (Table) 1

Maksymalne zawartości wybranych metali w osadach wodnych na historycznych i/lub obecnych obszarach górnictwa i hutnictwa w Europie

Maximum metal concentration in the aquatic sediments from historical and/or current mining and smelting areas in Europe

| Zlewnia rzeki (kraj) | Max [mg kg ⁻¹] | | | | Literatura, References |
|---|----------------------------|-------|--------|--------|--|
| River basin (country) | Cd | Cu | Pb | Zn | Literatura, References |
| Odra (Polska), Oder (Poland) | 14.3 | 766 | 802 | 3 690 | Helios-Rybicka et al. (2005) |
| Mała Panew (Polska, <i>Poland</i>), | 559.0 | 483 | 3 309 | 11 153 | Aleksander-Kwaterczak & Helios-Rybicka (2009) |
| Wisła (Polska), Vistula (Poland) | 143.0 | 500 | 665 | 5 287 | Helios Rybicka (1991) |
| Przemsza (Polska, <i>Poland</i>) | 430.0 | 1 185 | 17 637 | 62 600 | Aleksander-Kwaterczak (2007) |
| Łaba (Czechy, Niemcy) Elbe (Czech R., Germany) | 18.0 | 410 | 220 | 1 650 | Müller & Furrer (1998) |
| Mulde (Niemcy, Germany) | 498.0 | 862 | 13 290 | 10 186 | Rüdiger (Ed.) (1994) |
| Dunaj (dziewięć państw) Danube (nine countries) | 32.9 | 8 088 | 542 | 2 010 | Woitke et al. (2003) |
| Lot (Francja, France) | 294.0 | 264 | 1 280 | 10 000 | Audry et al. (2004) |
| Rio Tinto (Hiszpania, Spain) | 23.0 | 2 650 | 1 650 | 6 730 | Galén et al. (2003) |
| Nent, Hamps, Swale (Anglia, England) | 160.0 | 5 318 | 30 000 | 38 200 | Macklin et al. 1997 |
| Geul (Belgia, Belgium) | 37.0 | _ | 6 530 | 13 171 | Cappuyns et al. (2006) |
| Oka (Rosja, Russia) | 14.6 | 358 | 68 | 555 | Müller et al. (1996) |
| Tło geochemiczne Geochemical background | 0.3 | 45 | 20 | 95 | Turekian & Wedepohl (1961) |

W przypadku zlewni rzeki Wisły głównym ogniskiem jej zanieczyszczenia jest górnośląski przemysł wydobywczy, hutnictwo rud Zn-Pb oraz przemysł chemiczny. Z kopalń położonych na Śląsku każdego dnia trafia do Wisły około 9 tys. ton soli w postaci zasolonych wód kopalnianych, zawierających oprócz sporych ilości siarczanów również metale ciężkie (Tab. 1). Większość ładunków metali odprowadzanych jest do Wisły poprzez Kanał Matylda i rzekę Przemszę, w której maksymalne zawartości metali w osadach osiągają jedne z najwyższych w Europie (Helios-Rybicka 1991, Aleksander-Kwaterczak 2007).

W Niemczech od wielu lat prowadzone były szerokie badania metali w osadach rzek Łaby, Wezery, Ems i Renu, wykazały one silne zanieczyszczenie metalami głównie: Cd, Hg, Pb i Zn. Najwyższe koncentracje tych metali stwierdzono w osadach rzeki Łaby (Müller & Furrer 1998), przepływającej przez obszar o gęstym zaludnieniu i z historyczną działalnością górniczą. Około dwie trzecie obszaru zlewni Łaby (długość rzeki 1090 km) mieści się na terenie Niemiec. Pomimo tego, że w latach 1990–1999 na obszarze zlewni Łaby zakłady przemysłowe zostały zaopatrzone w nowoczesny sprzęt ograniczający emisję zanieczyszczeń, koncentracje niektórych zanieczyszczeń (Cd, Hg, As, Zn, HCB, PCB, i dioksyny/furany) są nadal wysokie (SedNet Report 2007). Müller & Furrer (1998) w oparciu o Igeo Indeks (Müller 1979) dokonali zarówno oceny zmian jakości osadów na przestrzeni lat, jak i zmian klas zanieczyszczenia osadów wzdłuż biegu rzeki Łaby (Fig. 1b). Największe ilości Cd, Zn i Hg

stwierdzono w osadach Łaby i jej dopływach Mulde i Havel (Tab. 1). Źródłami Cd i Zn są rudy cynku oraz tysiące ton odpadów górniczych i przeróbczych oraz żużli hutniczych, deponowanych przez stulecia do lat 80. XX wieku. Dodatkowo w przypadku dopływu Havel, głównym źródłem tych metali był przemysł galwanizacyjny oraz elektrolitycznej obróbki metali.

W ostatnich kilkunastu latach, w ramach TransNational Monitoring Network, prowadzono szerokie badania zanieczyszczenia metalami zawiesiny i osadów rzeki Dunaj. Dunaj, druga co do długości rzeka w Europie (2800 km), przepływająca przez dziewięć państw (Niemcy, Austria, Słowacja, Węgry, Chorwacja, Serbia, Bułgaria, Ukraina i Rumunia) o dobrze rozwiniętym przemyśle, stanowi główne źródło zanieczyszczeń wprowadzanych do Morza Czarnego. Wysokie zawartości metali (max: Pb – 542 mg/kg, Cu – 8088 mg/kg i Cd – 33 mg/kg) stwierdzone w osadach rzeki Dunaj i jej głównych dopływów, mogą wskazywać na ich źródło związane z górnictwem rozwiniętym na obszarze zlewni (Woitke *et al.* 2003).

Wśród innych najbardziej zanieczyszczonych rzek europejskich należy wymienić rzekę Geul (Wschodnia Belgia), która przepływa przez obszar górnictwa Pb-Zn (Plombieres – La Calamine). Wydobyciu i hutnictwu rud polimetalicznych towarzyszą odpady i ścieki powodujące silne zanieczyszczenie metalami (głównie Cd, Pb i Zn) osadów rzecznych (Tab. 1) (Cappuyns *et al.* 2006).

Główne rzeki na wschodzie Wielkiej Brytanii, przepływające przez obszar złóż Pennine (Northern Pennines, Yorkshire i Derbyshire), podobnie jak w przypadku wielu innych systemów rzecznych zlokalizowanych na obszarach historycznego górnictwa rud metalicznych, są silnie zanieczyszczone Cd, Pb i Zn (Tab. 1). Zawartości metali w osadach ze stref zalewowych dochodzą do [mg/kg]: 30 000 dla Pb (rzeka Swale), 38 200 dla Zn i 160 dla Cd (rzeka Nent) i 5 318 dla Cu (rzeka Hamps) (Macklin *et al.* 1997).

Estuarium Ria of Huelva (południowo-zachodnia Hiszpania) utworzone u ujścia łączących się dwóch rzek Tinto i Odiel uchodzących do Oceanu Atlantyckiego, jest jednym z najbardziej zanieczyszczonych metalami ciężkimi (Cu, Zn, Mn, Cd) i As estuariów na świecie (Sainz *et al.* 2004). Wynika to z transportu tych metali przez oba wymienione cieki, silnie zanieczyszczone wskutek drenażu kwaśnych wód z obszaru historycznego górnictwa pirytu (Iberian Piryt Belt). Maksymalne zawartości Cu, Zn, As, Pb i Cd w osadach wynosiły, odpowiednio: dla rzeki Tinto [mg/kg] 2650, 6730, 3090, 1650 i 23 natomiast dla rzeki Odiel [mg/kg] 2090, 240, 790, 1320 i 5.0 (Galén *et al.* 2003).

Wysokie zawartości metali (Tab. 1), szczególnie kadmu (0.33÷294) i cynku (81.5÷10000), stwierdzono także w rzece Lot (dopływ rzeki Gironde – Francja) przepływającej przez obszary historycznego (XIX w.) górnictwa i hutnictwa rud cynku (Audry *et al.* 2004).

Zlewnia rzeki Oki, drugiego co do długości dopływu Wołgi, stanowi jeden z regionów silnie uprzemysłowionych (inżynieria mechaniczna, zakłady metalurgiczne, petrochemiczne i chemiczne) na terenie Rosji. Stan jakości osadów tej rzeki został określony w ramach projektu Oka-Łaba. Stwierdzono podwyższone w stosunku do tła geochemicznego koncentracje Hg, Cd, Pb, Cu, Cr, Ni, Co, Fe i Mn, jednakże najwyższe ich przekroczenia dotyczą Cd (Tab. 1) (Müller *et al.* 1996).

PODSUMOWANIE

Przeprowadzony obszerny przegląd literatury pozwolił na rozpoznanie zarówno stanu jak i skali badań zanieczyszczenia osadów rzecznych w Europie, a także na rozpoznanie kluczowych wymagań przy podejmowaniu decyzji dotyczących zarządzania osadami w systemie zlewnio-

wym. Wiele rzek europejskich wykazuje znaczące zanieczyszczenie metalami ciężkimi, szczególnie na obszarach zlewni z historyczną i/lub obecną działalnością górnictwa i hutnictwa. W bardzo wielu przypadkach skażone są nie tylko rzeki główne, ale o wiele bardziej ich, często niewielkie dopływy (np. Mała Panew dopływ Odry czy Mulde dopływ Łaby). Bardzo wyraźnie należy podkreślić, znaczącą rolę osadów rzecznych w zarządzaniu nimi w systemie zlewniowym, co pozwala na prowadzenie jednolitego monitoringu osadów, a także na zdefiniowanie źródeł ich zanieczyszczenia.

Zarządzanie osadami w systemie zlewniowym obejmuje również ustalenie optymalnej techniki remediacji i jej przeprowadzenie, szczególnie w przypadku osadów silnie zanieczyszczonych, które należy traktować jako odpady.

Badania zostały dofinansowane przez KBN, projekt nr 11.11.140.447.

LITERATURA

- Adamiec E., Aleksander U., Budek L., Helios-Rybicka E., Łagan Ł., Skwarczek M., Sikora W., Strzebońska M., Wardas M. & Wójcik R., 2002. Chemical speciation, accumulation and mobilization of heavy metals in suspended matter and bottom sediments of the Odra River and their tributaries. *Final Report, Sub-Project 3, International Oder Project*, 1–72.
- Aleksander-Kwaterczak U., 2007. Rozmieszczenie metali śladowych w rdzeniach osadów wybranych rzek Polski. Wydawnictwa AGH, 1–114.
- Aleksander-Kwaterczak U. & Helios Rybicka E., 2009. Contaminated sediments as a potential source of Zn, Pb, and Cd for a river system in the historical metalliferous ore mining and smelting industry area of South Poland. *Journal of Soils and Sediments*, 9, 1, 13–22.
- Aundry S., Schäfer J., Blanc G. & Jouanneau J.-M., 2004. Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France). *Environ*mental Pollution, 132, 413–426.
- Brils J., 2004. Sediment monitoring under the EU Water Framework Directive. *Journal of Soils and Sediments*, 4, 2, 72–73.
- Brils J., 2008. Sediment monitoring and the European Water Framework Directive. *Ann Ist Super Sanita*, 44, 3, 218–223.
- Bortone C. & Palumbo L. (eds), 2007. Sustainable Management of Sediment Resources. Sediment and Dredged Material Treatment. Elsevier, Amsterdam, 1–209.
- Cappuyns V., Swennen R., Vandamme A. & Nicleas M., 2006. Environmental impact of the former Pb-Zn mining and smelting in East Belgium. *Journal of Geochemical Exploration*, 88, 6–9.
- Ciszewski D., 2006. Wpływ regulacji koryta Odry na akumulację osadów zanieczyszczonych metalami ciężkimi: zróżnicowanie, zmiany w czasie, zagrożenie środowiskowe. PAN Studia Naturae, 1–52.
- Crane M., 2003. Proposed development of Sediment Quality Guidelines under the European Framework Directive: a critique. *Toxicology Letters*, 142, 195–206.
- Förstner U., 2002. Sediments and the European Water Framework Directive. Editorial, *Journal of Soils and Sediments*, 2, 2, 5.

- Förstner U., 2008a. Differences in Policy response to similar scientific findings examples from sediment contamination issues in River Basin management Plans, New experiences with sediment issues (monitoring and measures) under the European Water Framework Directive. *Journal of Soils and Sediments*, 4, 214–216.
- Förstner U., 2008b. P.N. Owens, Sustainable management of sediment resources. Sediment management at the river scale (Book Review), *Journal of Soils and Sediments*, 4, 8, 212–213.
- Galén E., Gómez-Ariza J.L., González I., Fernández-Caliani J.C., Morales E. & Giráldez I., 2003. Heavy metal partitioning in river sediments severely polluted by acid mine drainage in the Iberian Pyrite Belt. *Applied Geochemistry*, 18, 409–421.
- Helios-Rybicka E., 1991. Phase-specific bonding of heavy metals in the sediment of the Vistula River, Poland. *Applied Geochemistry*, 2, 45–48.
- Helios-Rybicka E., Adamiec E. & Aleksander-Kwaterczak U., 2005. Distribution of heavy metals in the Odra River system: Water-suspended matter-sediments. *Limnologica*, 35, 185–198.
- Heise Z. & Förstner U., 2007. Risk assessment of contaminated sediments in river basin theoretical consideration and pragmatic approach. *Journal of Environmental Monito- ring*, 9, 943–952.
- Heise S., Krüger F., Baborowski M., Stachel B., Götz R. & Förstner U., 2008. *Assessment of risks from particle bound substances in the Elbe river basin (in German)*. Commissioned by Hamburg Port Authority and River basin Community (FGG) Elbe. Hamburg, 1–349, www.tideelbe.de
- KOM 871. 2007. 2006/0129 (COD) Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Bruksela, dnia 10.1.2008.
- Macklin M.G., Hudson-Edwards K.A. & Dawson E.J., 1997. The significance of pollution from historic metal mining in the Pennine orefields on river sediment contaminant fluxes to the North Sea. *The Science of the Total Environment*, 194/195, 391–397.
- Müller G., 1979. Schwermetalle in den Sedimenten der Rheins Veränderung seit 1971. *Umschau*, 79, 778.
- Müller G. & Furrer R., 1998. Pollution of the River Elbe, past, present and future. *Water Quality International*, 15–18.
- Müller G., Furrer R., Kolomiytsev N. & Shcherbakov A., 1996. Heavy metals in aquatic sediments of the Oka River drainage area (Russia). *Journal of Conference Abstract, V.M. Goldschmidt Conference*, Heidelberg, Niemcy, 1, 1, 417.
- Owens P.N., 2005. Conceptual Models and Budgets for Sediment Management at the River Basin Scale. *Journal of Soils and Sediments*, 5, 4, 201–212.
- Owens P.N. (Ed.), 2008. Sustainable management of sediment resources. Sediment management at the river scale. Elsevier, Amsterdam, 4, 1–265.
- Quevauviller P., 2006. Chemical monitoring activity under the common implementation strategy of the WFD. *Journal of Soils and Sediments*, 6, 1, 2–3.
- Rüdiger F. (Ed.), 1994. *Die Belastung der Elbe Teil I -Elbenebenflüsse*. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, 1–70.
- Sainz A., Grade J.A. & de la Tore M.L., 2004. Characterisation of heavy metal discharge into the Ria of Huelva. *Environment International*, 30, 557–566.

- Salminen R. (Ed.), 2005. *Geochemical Atlas of Europe. Part 2*. Geological Survey of Finland, Espoo, 1–690.
- Salomons W., 2005. Sediments in the catchment-coast continuum. *Journal of Soils and Sediments*, 5, 2–8.
- SedNet Report, 2007. Sediment Management: An essential element on River Basin Management Plans. *Journal of Soils and Sediments*, 7, 2, 117–132.
- Turekian K.K. & Wedepohl K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the eart's crust. *Bulletin Geological Society America*, 72, 175–184.
- Westrich B. & Förstner U., 2007. Sedyment dynamic and pollutant mobility in rivers an interdisciplinary approach. Springer, Heidelberg, 1–430.
- Woitke P., Wellmitz J., Helm D., Kube P., Lepom P. & Litheraty P., 2003. Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended solids and sediments of the river Danube. *Chemosphere*, 51, 633–642.
- 2000/60/WE Ramowa Dyrektywa Wodna. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 roku.