

Ryszard Pujszo<sup>1</sup>, Ernest K. Pujszo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Studium Wychowania Fizycznego i Sportu

<sup>2</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Katedra Chemii Nieorganicznej

Correspondence: Ryszard Pujszo Ph D.

rychu54@interia.pl

### **Rzęsa wodna (*Lemna minor*) – problem Kanału Bydgoskiego i Kanału Górnonoteckiego**

Duckweed (*Lemna minor*) – the problem of Bydgoszcz Canal and the Górnonotecki Canal

**Słowa kluczowe:** rzęsa wodna, Kanał Bydgoski, metale ciężkie, usuwanie

**Key words:** duckweed, Bydgoszcz Canal, heavy metals, removal

**Streszczenie:** W niniejszym komunikacie przeanalizowano zjawisko występowania rzęsy wodnej w warunkach polskich cieków wodnych ze szczególnym uwzględnieniem wód Kanału Bydgoskiego i Kanału Górnonoteckiego. Zaprezentowano potencjalne zagrożenia i korzyści tego zjawiska ze szczególnym uwzględnieniem kumulacji metali ciężkich w materiale biologicznym. Przedstawiono krajowe oraz światowe trendy wykorzystania oraz zwalczania tego zjawiska proponując także określone rozwiązania dla obu wspomnianych cieków wodnych.

**Abstract.** The article presents the data concerning the phenomenon of duckweed in the Polish environment including the Bydgoszcz Canal and the Górnonotecki Channel. The article depicts potential threats and advantages connected with this phenomenon in the context of heavy metals accumulation in the biological material. The article also presents the way this phenomenon is locally and globally used and coped with suggesting definite solutions for both waterways.

### **Wstęp**

Kanał Bydgoski i Kanał Górno notecki są sztucznymi szlakami wodnymi będącymi wielkimi osiągnięciami hydrotechnicznymi minionych wieków. Kanał Bydgoski oddany został do

użytku już po 18 miesiącach od rozpoczęcia budowy, a uroczystego otwarcia dokonano w 1774 r. Miał długość 26,8 km i połączył dorzecza dwóch największych polskich rzek – Wisły i Odry, tworząc w ten sposób nowy szlak wodny o długości 294,3 km. Wysoka ranga Kanału Bydgoskiego związana była z jego znaczeniem przemysłowym i miała bezpośredni wpływ przez cały wiek XIX na rozwój gospodarczy i cywilizacyjny regionu Pomorza i Kujaw. Po II wojnie światowej rola Kanału Bydgoskiego zaczęła się zmniejszać, a jego walory turystyczne i rekreacyjne straciły na wartości wskutek wieloletnich zaniedbań (Badtke, 2007). Kanał Górnio notecki oddano do użytku w 1892 r. Powstał z potrzeby zaopatrywania w wodę Kanału Bydgoskiego i poprzez górny odcinek rzeki Noteć połączył go z jeziorem Gopło. Ma długość 25 km i liczby osiem śluz, a długość całego systemu wodnego wynosi 114,6 km (Bartkowski, 2006; Sławiński, Nadolny, 2007). Oba kanały wchodzą w skład zamkniętego obszaru wodnego o niepowtarzalnych i niedocenionych walorach turystycznych zwanego Pętlą Wielkopolską (Sławiński, Nadolny, 2007).

Zdaniem autorów, wyłącznie równoczesna rewitalizacja obu wyżej wspomnianych szlaków wodnych umożliwi uzyskanie i zachowanie odpowiednich czystości wody i naturalnego otoczenia, przyczyni się do rozwoju turystyki i rekreacji, czym podniesie atrakcyjność całego zamieszkiwanego przez nas regionu.

Autorzy w niniejszym komunikacie skupili się na zjawisku występowania dużych ilości rzęsy wodnej w wodach Kanałów Bydgoskiego oraz Górnionoteckiego, co powoduje znaczne utrudnienie w żegludze turystycznej oraz ma negatywny wpływ na estetykę wyżej wymienionych szlaków wodnych (Babiński i in., 2007).

## **Materiał i metody badań**

W niniejszym komunikacie zebrano i opracowano podstawowe dane o typologii, zjawisku tworzenia i zalegania rzęsy wodnej w kontekście kumulowania przez nią wybranych metali ciężkich. Przedstawiono korzystne oraz niekorzystne efekty tej kumulacji w wybranych zbiornikach wodnych. Ponadto, zaprezentowano krajowe i światowe doniesienia wykorzystywania oraz zwalczania rzęsy wodnej z wykorzystaniem osiągnięć nowoczesnej techniki.

## Wyniki

Rzęsa wodna występuje powszechnie na terenach Polski i wchodzi w skład zbiorowisk roślin zasiedlających środowisko wodne. Zaliczana do hydrofitów, należy do swobodnie pływających roślin wodnych, których organelle przetrwalne w trakcie niesprzyjającej pory roku są całkowicie zanurzone w wodzie i opadają na dno. Jej bujny rozkwit potrafi spowodować pokrycie grubą matą do 100 proc. powierzchni wody, całkowicie odcinając dopływ światła do toni wodnej. Warto nadmienić, że w warunkach naturalnych rzęsa wodna stanowi cenne źródło pożywienia dla wielu organizmów roślinożernych (Kajak, 2001), w tym ptaków wodnych i ryb (Drost i in., 2007). W Polsce odpowiedzialnymi za zarastanie zbiorników wodnych jest zbiorowisko roślinności *Lemno-Spirodeletum*. Gatunkami wchodzącymi w jego skład są najczęściej: *Lemna minor*, *Lemna gibba*, *Lemna trisulca* oraz *Wolffia arrhiza*. Wśród nich najbardziej popularnym gatunkiem jest *Lemna minor*, roślina o średnicy dochodzącej do 3 mm, zasiedlająca wody eutroficzne, tworząca szybko rozrastające się maty (do grubości 5 cm), odporna na odchody ptasie, zanieczyszczenia komunalne, hamująca poprzez zaciemnianie zbiornika rozwój roślinności dennej (Podbielkowski, Tomaszewicz, 1996). Produkuje znaczne ilości szybko rozkładającej się fitomasy, zawierającej zależnie od środowiska ok. 5–18 proc. substancji celulozowych i ok. 45–53 proc. substancji biologicznych. Masa rzęsy wodnej w warunkach średniego nasłonecznienia w Polsce podwaja się co 5–7 dni, co daje do 13 ton suchej masy z hektara rocznie (Krzemieniowski i in., 2007; Ozimek, 1991). Z tego powodu *Lemna minor* stanowi wartościowy materiał pokarmowy wykorzystywany w hodowli trzody chlewnej oraz naturalne pożywienie dla dzikiego ptactwa. Cechą charakterystyczną rzęsy wodnej jest także jej zdolność do kumulacji metali ciężkich (Wechterowicz i in., 2005) i zanieczyszczeń komunalnych oraz pochłanianie związków azotu i fosforu (Andraszczuk, Maciejak, 2002).

Liczne prace (np. Rahmani, Sternberg, 1999; Axtell i in., 2003; Oporto i in., 2006; Frédéric i in., 2006; Hou i in., 2007; Drost i in., 2007; Alvarado i in., 2008) z ostatniej dekady prezentują możliwości oczyszczania zbiorników wodnych poprzez wiązania wybranych pierwiastków w biomacie rzęsy wodnej. Wyróżnia się wśród nich (Chojnacka, 2006) biosorpcję (realizowaną przez nieżyjącą biomasę) oraz bioakumulację (realizowaną przez żyjącą biomasę). Niewątpliwymi zaletami rzęsy wodnej, które zdecydowały o jej powszechnym wykorzystaniu w badaniach możliwości sorpcji metali ciężkich jak i związków

chemicznych innych pierwiastków, są: – wszechobecność w wodach płynących, wolno płynących lub stojących we wszystkich strefach klimatycznych, z wyjątkiem pustyń i prawdopodobnie tundry (Drost i in., 2007; Axtell i in., 2003); – szybki wzrost (Drost i in., 2007); – łatwość hodowli (Drost i in., 2007); – szeroki zakres tolerancji zmian temperatur (OoC – 35oC) (Rahmani i in., 1999); – łatwość zebrania z powierzchni wody (Chojnacka, 2006); – rozwój nawet w bardzo zanieczyszczonym środowisku (Chojnacka, 2006).

Należy zwrócić uwagę, że celem sorpcji metali ciężkich przez *Lemna minor* nie powinno być wyłącznie usunięcie jonów tych metali z cieku wodnego, lecz także ich wprowadzenie do materiału biologicznego, który docelowo powinien posłużyć jako wartościowy środek odżywczy dla zwierząt hodowlanych lub wysokowartościowy nawóz pod uprawy. Bardzo wiele metali stanowi minerały, które jako mikroelementy organizmów żywych pełnią w nich liczne użyteczne funkcje. Trzeba mieć na uwadze, jakie dopuszczalne stężenia tych metali mogą być zawarte w paszy przeznaczonej dla zwierząt hodowlanych, tak aby nie spowodować u nich chorób przenoszonych na człowieka. Przykłady zaburzeń i schorzeń, do których mogą doprowadzić zbyt duże stężenia wybranych metali ciężkich w organizmie człowieka przedstawiono w tabeli 1. Rzęsa wodna w okresie rozkwitu pokrywa do 100 proc. powierzchni Kanału Bydgoskiego i Kanału Górnonoteckiego, z którego w sposób naturalny przedostaje się poprzez śluzy do Kanału Bydgoskiego. W pobliżu śluz osiąga miąższości do 1 m (Babiński i in., 2007), co stanowi poważne utrudnienie żeglugowe oraz wpływa ujemnie na warunki biologiczne i estetyczne obu wspomnianych arterii wodnych. Ze względu na to, że istnieje ścisła zależność pomiędzy zawartością metali ciężkich w wodzie i osadach dennych a ich stężeniem w rzęsie wodnej, w tabelach 2 i 3 przedstawiono stężenia wybranych metali ciężkich w Kanale Bydgoskim i Kanale Górnonoteckim. Wizualna ocena danych zawartych w tabeli 2 pozwala stwierdzić, że wody Kanału Górnonoteckiego nie są zanieczyszczone metalami ciężkimi i tendencja ta jest stabilna.

Analiza danych zawartych w tabeli 3 pozwala wyciągnąć wniosek, że osady denne Kanału Bydgoskiego są w sposób istotny, choć nierównomierny, zanieczyszczone metalami ciężkimi.

### **Sposoby rozwiązania problemu rzęsy wodnej**

Podstawowym sposobem rozwiązania problemu nadmiernego występowania rzęsy wodnej jest utrzymywanie zbiornika wodnego w stanie czystości uniemożliwiającej jej rozwój. W swoich rozważaniach autorzy niniejszego komunikatu uzależniają wykorzystanie zebranej ze zbiornika rzęsy wodnej od stopnia jej zanieczyszczenia metalami ciężkimi bez uwzględniania

ewentualnych korzyści ekonomicznych tego procesu. Materiał biologiczny niezawierający metali ciężkich może być w sposób mechaniczny usuwany na brzeg zbiornika, a jeżeli warunki na to nie pozwalają, to wywożony do oczyszczalni ścieków celem jego utylizacji. W zależności od składu chemicznego (zawartości metali ciężkich, związków fosforu i azotu) może być także transportowany na obszary zasiedlane przez zwierzyńnię lub ptactwo czy też dostarczany jako cenny nawóz na obszary rolne.

Szacunkowe dane przedstawiające ilościowo zjawiska występowania *Lemna minor* w wodach Kanału Bydgoskiego i Kanału Górnonoteckiego wynoszą około 1000 ton suchej masy rocznie dla każdego z nich. Należy także zwrócić uwagę, że szacunkowo wyliczona masa rzęsy wodnej wymaga usunięcia tak dużych jej ilości jedynie w momencie rozpoczęcia prac. W kolejnych latach, biorąc pod uwagę cykl podwajania masy przez rzęsę wodną wynoszący 5–7 dni, należy założyć jej usuwanie w ilości nie przekraczającej 5–7 ton/cykl pod warunkiem regularności procesu.

Za regularność wystarczającą do utrzymania estetyki oraz czystości zbiornika wodnego można przyjąć początkowo 2 do 4 czyszczeń w sezonie letnim, posiłkując się danymi eksploracyjnymi zbiorów rzęsy w oczyszczalniach typu Lemna (Andraszczuk, Maciejak, 2002). Poniżej przedstawiono kilka komercyjnych możliwości wykorzystania rzęsy wodnej:

- biologiczne oczyszczalnie ścieków komunalnych – typ Lemna – patent USA;
- biogazownie wykorzystujące proces fermentacji metanowej (Krzemieniowski i in., 2007);
- komposty uzyskane metodą wernikompostowania (Kaniuczak, Kostecka, 2000);
- pasza dla ptactwa hodowlanego, nawóz rolniczy.

Materiał biologiczny zawierający metale ciężkie powinien być również w sposób mechaniczny usuwany na środek transportujący (np. barka), a następnie przewożony do oczyszczalni ścieków celem jego utylizacji. W oczyszczalni możliwe są dwa rozwiązania (Raport DSC ds. Consulting Gdańsk, 2004):

- rekultywacja i mieszanie z innym podłożem w celu wykorzystania jako nawóz do uprawy np. wierzby energetycznej;
- ostateczne usunięcie przez suszenie i spalanie, a następnie chemiczne związanie pozostałych w popiele metali ciężkich.

## **Sposoby usuwania rzęsy wodnej**

Rzęsa wodna jest materiałem biologicznym niezwiązanym z dnem cieku wodnego, dlatego też mechanicznie łatwo ją z niego usunąć. Szybki wzrost jej masy powoduje, że usuwanie to w początkowym etapie prac należy wykonywać często i systematycznie. Powinno się przy tym uwzględniać fakt opadania rzęsy na dno zbiornika zarówno przy zmianie temperatury, jak i przy istotnej zmianie pH.

### **Mechaniczne sposoby usuwania rzęsy wodnej:**

- odsysanie mechaniczne z użyciem pływającej pogłębiarki ssącej typu refulera –  
przykładowo firma Innovative Material System – USA (FH Dromader Wejherowo);
- odsysanie mechaniczne pływającą barierą typu refuler, analogicznie jak w oczyszczalniach typu Lemna;
- żniwiarka pływająca – oczyszczalnie *Lemna minor* o dużej przepustowości  $Q > 600$  m<sup>3</sup>/d;
- aparatura i metody do zbioru roślin wodnych opatentowane w USA, np. patent US3653192;
- pływające oczyszczacze wody firmy United Marine International (UMI) typu Trashcat i Weedcat.

Modele UMI typu Weedcat są szczególnie popularne w procesach oczyszczania rzek z roślinności pływającej (w tym *Lemna minor*) na całym świecie. Ich dane i podstawowe parametry techniczne znajdują się na stronie internetowej UMI ([www.trashskimmer.com](http://www.trashskimmer.com)). Ze względu na małe wymiary, łatwość w transporcie i prostotę obsługi na rycinach 1–3 przedstawiono fotografie podstawowego modelu służącego do usuwania *Lemna minor* z powierzchni cieku wodnego.

## **Dyskusja i wnioski**

Problem nadmiernego rozwoju rzęsy wodnej nie dotyczy jedynie polskich cieków wodnych, lecz pojawia wszędzie tam, gdzie występują zbiorniki wody stojącej lub o małym natężeniu przepływu. Przykładem walki z tym zjawiskiem są zarówno niektóre silnie zeutrofizowane rzeki amerykańskie, jak i jeden z największych światowych zbiorników wodnych – jezioro Maracaibo w Wenezueli. Jeżeli dochodzi do tego również silne zanieczyszczenie ściekami komunalnymi, przemysłowymi o dużym zasoleniu lub spływaniem nawozów sztucznych z

pól rolniczych, rzęsa wodna ma bardzo dobre warunki wegetacji i potrafi pokrywać do 100 procent owierzchni zbiornika.

Znaczne pokrycie powierzchni zbiornika wodnego zmienia jego hydrodynamikę, jakość procesów chemicznych oraz pogarsza estetykę. Należy również zauważyć, że duże możliwości sorpcyjne pozwalające pochłaniać metale ciężkie stanowią jedyny sposób obrony zanieczyszczonego cieką wodnego przed jego całkowitą degradacją.

Przykładami powyższych faktów są zarówno wody Kanału Bydgoskiego, jak i połączonego z nim Kanału Górnonoteckiego. Liczne doniesienia prasowe, publikacje naukowe z zakresu ekologii, turystyki czy wiadomości zaczerpnięte z internetowych portali społecznościowych (np. wędkarskich, żeglarskich) nakazują rozwiązanie problemu rzęsy wodnej, uwzględniając zarówno czystość wody, jak i estetykę szlaku turystycznego.

Jedynym skutecznym rozwiązaniem jest pierwotne usunięcie z cieką wodnego nagromadzonej w nim przez dziesięciolecia rzęsy wodnej, następnie jego rewitalizacja i w dalszej kolejności utrzymywanie go w stanie czystości eksploatacyjnej przy użyciu standardowego wyposażenia mechanicznego. Rzęsę wodną po przeprowadzonych badaniach na obecność metali ciężkich należy zebrać i w zależności od jej składu chemicznego wykorzystać jako paszę dla trzody hodowlanej, wysokowartościowy nawóz pod uprawy lub przekazać do utylizacji w oczyszczalni ścieków. W przypadku rozwiązywania problemu *Lemna minor* w wodach Kanału Bydgoskiego i Kanału Górnonoteckiego należy oba te zbiorniki potraktować łącznie i:

- Przeprowadzić badania stopnia zanieczyszczenia (również zawartości metali ciężkich) w materiale biologicznym rzęsy wodnej.
- Przeprowadzić zbiór rzęsy wodnej z obu kanałów przy użyciu standardowego sprzętu (np. zaprezentowanego w niniejszym komunikacie).
- Rzęsę zanieczyszczoną metalami ciężkimi należy przetransportować do oczyszczalni ścieków, natomiast rzęsę czystą można usuwać bezpośrednio na brzeg cieką wodnego (jeżeli pozwalają na to warunki gruntowe i budowlane), ponieważ stanowi ona bogate w minerały pożywienie dla dzikiej zwierzyny i ptactwa.
- Przeprowadzać systematyczny zbiór rzęsy wodnej 2–4 razy w sezonie letnim, który zagwarantuje czystość Kanału Bydgoskiego oraz silnie zasolonego i zeutrofizowanego (Babiński i in., 2007) Kanału Górnonoteckiego.

## Podziękowania

Autorzy artykułu serdecznie dziękują Panu Przemysławowi Landowskiemu – sponsorowi badań naukowych.

## Tabele.

Tab. 1. Przykłady niekorzystnych efektów zbyt wysokich stężeń wybranych metali ciężkich w organizmie człowieka.

Metal ciężki	Przykłady niekorzystnych efektów zbyt wysokich stężeń wybranych metali ciężkich w organizmie człowieka	Literatura
Pb	Anemia, schorzenia wątroby i nerek, uszkodzenia mózgu, śmierć	(Rahmani i in., 1999; Axtell i in., 2003)
Ni	Podrażnienia i uszkodzenia płuc oraz układu nerwowego, powstawanie nowotworów	(Axtell i in., 2003)
Cr (VI)	Uszkodzenia wątroby i nerek, przewodu pokarmowego, systemu immunologicznego oraz prawdopodobnie krwi	(Oporto i in., 2006)

Tab. 2. Stężenia [mg/dm<sup>3</sup>] wybranych metali ciężkich w wodzie Kanału Górno noteckiego w 2007 i 2008 r. (miejscowość Łochowo – dane Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Bydgoszczy)

	luty		Maj		Lipiec		listopad	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
Chrom	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	-
Cynk	<0,015	<0,003	<0,009	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	
Kadm	<0,0005	<0,005	<0,0005	<0,005	<0,0005	<0,005	<0,0005	
Miedź	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	
Nikiel	<0,0005	<0,0025	<0,0005	<0,0025	<0,00025	<0,0025	<0,00025	
ołów	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	



Tab. 3. Stężenia [mg/kg s.m.\*] wybranych metali ciężkich w masie suchej osadów dennych Kanału Bydgoskiego w 2004 r. (Raport DSC ds. Consulting Gdańsk, 2004).

\* s.m. = suchej masy

\*\* wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 16.04.2002 r., Dz.U. 55.498.02

	punkt pomiarowy 1	punkt pomiarowy 2	punkt pomiarowy 3	punkt pomiarowy 4	punkt pomiarowy 5	urobek zanieczyszczony
Chrom	267,9	201,8	46,5	401,25	10,0	>200
Cynk	249,5	352,5	148,5	163,5	202,0	>1000
Kadm	11,5	5,8	0,87	4,75	1,63	>7,5
Miedź	136,8	130,8	15,8	77,8	12,5	>150
Nikiel	115,8	58,8	112,8	659,0	17,5	>75
Ołów	130,5	91,75	8,75	137,25	26,25	>200

### Ryciny.



Ryc. 1. Model Weedcut UMI w trakcie czyszczenia nabrzeża (www.trashskimmer.com).



Ryc. 2. Model Weedcut UMI w trakcie bagrowania koryta cieku wodnego ([www.trashskimmer.com](http://www.trashskimmer.com)).



Ryc. 3. Model Weedcut UMI gotowy do transportu drogowego ([www.trashskimmer.com](http://www.trashskimmer.com)).

## References:

- Andraszcyk A., Maciejak M., 2002, *Zastosowanie rzęsy wodnej (Lemna minor) w procesie oczyszczania ścieków*, Międzynarodowa Młodzieżowa Konferencja Naukowa «Europa – Ekorozwój – Młodzież – Edukacja» „Rolnictwo ekologiczne i ekoagroturystyka w krajach Europy Środkowo-Wschodniej i Unii Europejskiej”, AR Wrocław.
- Alvarado S., Guédez M., Lué-Merú M.P., Nelson G., Alvaro A., Jesús A.C., Gyula Z., 2008, *Arsenic removal from waters by bioremediation with the aquatic plants Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) and Lesser Duckweed (Lemna minor)*, „Bioresource technology”, 99, s. 8436–8440.
- Axtell N.R., Sternberg S.P.K., Claussen K., 2003, *Lead and nickel removal using Microspora and Lemna minor*, „Bioresource technology”, 89, s. 41–48.
- Babiński Z., Habel M., Szumińska D., 2007, *Mechanizmy i przyczyny zamulania koryta Kanału Bydgoskiego*, [w:] *Rewitalizacja drogi wodnej Wisła–Odra szansą dla gospodarki regionu*, Wyd. Logo, Bydgoszcz, s. 65–78.
- Badtke M., 2007, *Kanał Bydgoski*, Wyd. EKO–BAD, Bydgoszcz, s. 6 i 11–13.
- Bartowski K., 2006, *Bydgoski Węzeł Wodny, Bydgoski szlak wodny*, Instytut Wydawniczy „Świadectwo”, Bydgoszcz, s. 40–41.
- Chojnacka K., 2006, *The application of multielemental analysis in the elaboration of technology of mineral feed additives based on Lemna minor biomass*, „Talanta”, 70, s. 966–972.
- Drost W., Matzke M., Backhaus T., 2007, *Heavy metal toxicity to Lemna minor: studies on the time dependence of growth inhibition and the recovery after exposure*, „Chemosphere”, 67, s. 36–43.
- Frédéric M., Samir L., Louise M., Abdelkrim A., 2006, *Comprehensive modeling of mat density effect on duckweed (Lemna minor) growth under controlled eutrophication*, „Water research”, 40, s. 2901–2910.
- Rzęsa wodna (*Lemna minor*) – problem Kanału Bydgoskiego i Kanału Górnonoteckiego 160
- Hou W., Chen X., Song G., Wang Q., Chang C.C., 2007, *Effects of copper and cadmium on heavy metal polluted waterbody restoration by duckweed (Lemna minor)*, „Plant physiology and biochemistry”, 45, s. 62–69.
- Kajak Z., 2001, *Hydrologia – limnologia*, Wyd. PWN, Warszawa, s. 41–63.

- Kaniuczak J., Kostecka J., 2000, *Skład chemiczny wernikompostów wyprodukowanych z rzęsy wodnej*, [w:] materiały pokonferencyjne „Ekologiczne i gospodarcze znaczenie dżdżownic”, Rzeszów.
- Krzemieniewski M., Zieliński M., Dębowski M., 2007, *Biomasa wodna jako źródło energii odnawialnej*, „Czysta Energia”, 12, s. 18.
- Oporto C., Arce O., Van den Broeck E., Van der Bruggen B., Vandecasteele C., 2006, *Experimental study and modelling of Cr (VI) removal from wastewater using Lemna minor*, „Water research”, 40, s. 1458–1456.
- Ozimek T., 1991, *Makroality jako filtry biologiczne w procesie oczyszczania ścieków*, „Wiadomości Ekologiczne”, nr 37/4, s. 271–281.
- Podbielkowski Z., Tomaszewicz H., 1996, *Zarys hydrobotaniki*, Wyd. PWN, Warszawa, s. 249–310.
- Rahmani G.N.H., Sternberg S.P.K., 1999, *Bioremoval of lead from water using Lemna minor*, „Bioresource technology”, 70, s. 225–230.
- Raport DSC ds. Consulting Gdańsk, 2004, *Ocena oddziaływania na środowisko*, Miejskie Wodociągi i Kanalizacja Sp. z o.o.
- Słowiński M., Nadolny G., 2007, *Wielka Pętla Wielkopolska*, wyd. Satchwell, Warszawa.
- Wechterowicz Z., Rajkowska, M., Protasowicki, M., 2005, *Common duckweed (Lemna minor L) as a potential bioindicator of heavy metal pollution of freshwaters*, „Chemia i inżynieria ekologiczna”, Vol. 12, nr 10, s. 1155–1161. [www.trashskimmer.com](http://www.trashskimmer.com) i podstrony.