

Krzysztof Józwiakowski, Michał Marzec, Aneta Pytka

WPLYW TEMPERATURY ŚCIEKÓW NA SKUTECZNOŚĆ USUWANIA ZANIECZYSZCZEŃ W SYSTEMIE STAWÓW BIOLOGICZNYCH

THE INFLUENCE OF WASTEWATER TEMPERATURE ON THE EFFICIENCY OF POLLUTANTS REMOVAL BY BIOLOGICAL PONDS SYSTEM

Streszczenie

W pracy przeanalizowano wpływ temperatury ścieków surowych na efekty usuwania zanieczyszczeń w biologicznej oczyszczalni ścieków w Ludwinie. W oczyszczalni zastosowano system 4 stawów: 1 – staw beztlenowy, 2A – staw napowietrzany ze złożem biologicznym zanurzonym, 2B – staw napowietrzany 3 – staw tlenowo-beztlenowy z recyrkulacją ścieków. W latach 2008-2010 analizowano skuteczność usuwania zanieczyszczeń organicznych (BZT_5 i $ChZT_{Cr}$) oraz azotu ogólnego i fosforu ogólnego. Średnia skuteczność zmniejszania BZT_5 wyniosła 90%, a $ChZT_{Cr}$ – 75%. Niższą efektywność oczyszczania stwierdzono w przypadku fosforu ogólnego oraz azotu ogólnego (odpowiednio 65 i 32%). Przeprowadzona analiza statystyczna uzyskanych wyników wykazała wyraźny wpływ temperatury ścieków na skuteczność usuwania azotu ogólnego i fosforu ogólnego. Nie stwierdzono istotnej zależności pomiędzy temperaturą ścieków a stopniem zmniejszenia wskaźników tlenowych BZT_5 i $ChZT_{Cr}$.

Słowa kluczowe: biologiczne stawy ściekowe, temperatura ścieków, efekty oczyszczania

Summary

The paper presents the impact of the temperature of raw sewage on the effects of pollutants removal in biological treatment plant in Ludwin. The plant includes four ponds: (1) an anaerobic pond, (2A) an aerated pond with biological plunged bed, (2B) an aerated pond, (3) a sediment pond. In the years 2008-2010

organic pollutant removal efficiency, expressed as BOD₅ and COD_{Cr} indices and total nitrogen and total phosphorus were analyzed. The entire system of wastewater ponds is able to achieve a BOD₅ reduction of approximately 90% and COD_{Cr} reduction 75%. Lower treatment effects for total phosphorus and total nitrogen were found (respectively 65% and 32%). Statistical analysis showed a clear influence of the wastewater temperature on total nitrogen and total phosphorus removal. There was no significant correlation between the wastewater temperature and the reduction of BOD₅ and COD_{Cr}.

Key words: waste stabilization ponds, temperature, effects of treatment

WSTĘP

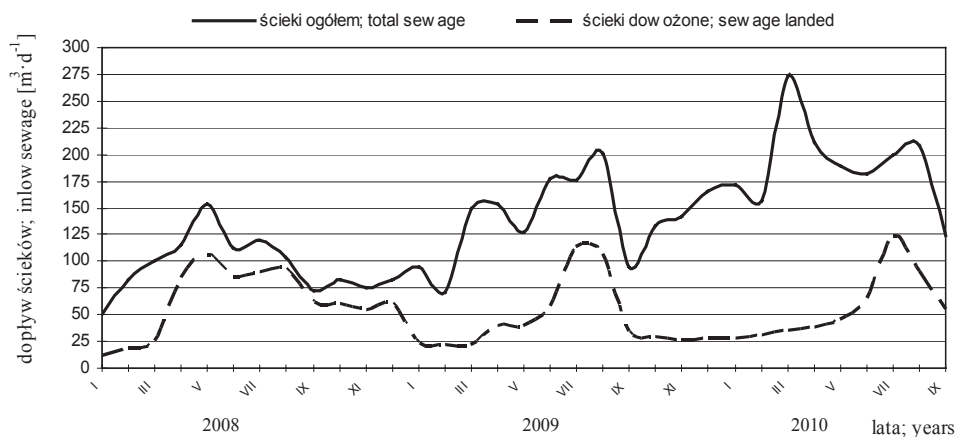
Stawy ściekowe są stosowane na świecie i w Polsce do oczyszczania ścieków odpływających z terenów miejskich [Marczonek i in. 1988; Ouazzani i in. 1995; Paluch 1995], jak również z małych miejscowości [Thirumurthi 1974; Henderson 1979; Goral 1994; Paluch 1995; Racault i in. 1995; Horan i in. 2006]. Ponadto wykorzystuje się je do oczyszczania ścieków rolniczych i przemysłowych oraz do unieszkodliwiania osadów ściekowych [Baoshen i in. 1996; Cauchie i in. 2000; Ingallinella i in. 2002; Nelson i in. 2004].

Według wielu autorów [Ouazzani i in. 1995; Silva i in. 1995; Mbwele i in. 2003] system stawów beztlenowych, tlenowych i niedotlenionych umożliwia dosyć skuteczne usuwanie ze ścieków związków węgla, azotu i fosforu. Wśród najważniejszych czynników wpływających na stopień eliminacji związków węgla oraz intensywność przemian azotu i fosforu w ściekach wymienia się temperaturę [Bojanowska, Pepliński 2002]. Jej znaczenie w procesie oczyszczania jest dobrze rozpoznane w odniesieniu do dużych oczyszczalni ścieków, wykorzystujących metodę osadu czynnego, mniej jest natomiast danych opisujących wpływ temperatury na usuwanie zanieczyszczeń w małych oczyszczalniach, np. opartych na systemie stawów biologicznych.

Celem pracy jest ocena wpływu temperatury ścieków na efekty usuwania zanieczyszczeń organicznych (BZT₅ i ChZT_{Cr}) oraz azotu ogólnego i fosforu ogólnego w gminnej oczyszczalni ścieków opartej na systemie stawów ze złożem biologicznym zanurzonym.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Analizowana oczyszczalnia funkcjonuje od 1992 roku w miejscowości Ludwin, w województwie lubelskim. Ilość ścieków doprowadzanych do oczyszczalni w latach 2008-2010 wahała się od 49,7 do 273,0 m³·d⁻¹ (rys. 1), a średnio wynosiła 137 m³·d⁻¹. Większość (około 60%) stanowiły ścieki doprowadzane kanalizacją z terenu gminy Ludwin, resztę zaś ścieki dowożone (głównie w okresie letnim) z ośrodków wypoczynkowych na Pojezierzu Łęczyńsko-Włodawskim.



Rysunek 1. Średnie dobowe ilości ścieków dopływających do oczyszczalni w Ludwinie w latach 2008–2010

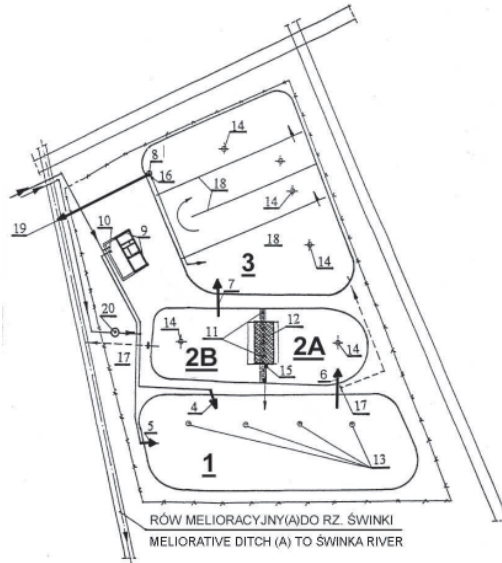
Figure 1. The average daily amount of wastewater inflowing to the treatment plant in Ludwin in 2008-2010

W układzie technologicznym oczyszczalni zastosowano system 4 stawów: 1 – staw beztlenowy, 2A – staw napowietrzany ze złożem biologicznym zanurzonym 2B – staw napowietrzany, 3 – staw tlenowo-beztlenowy z recyrkulacją ścieków (rys. 2). Najważniejsze parametry technologiczne stawów przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry technologiczne oczyszczalni ścieków w Ludwinie [Jóźwiakowski, Kotulska 2006]

Table 1. Technological parameters of wastewater treatment plant in Ludwin [Jóźwiakowski, Kotulska 2006]

Parametry/Parameters	Staw nr 1 Pond no 1	Staw nr 2A Pond no 2A	Staw nr 2B Pond no 2B	Staw nr 3 Pond no 3
Pojemność użytkowa [m ³] Useful reservoir capacity	6089	2000	2000	4700
Głębokość czynna [m] Operating depth	3,0	3,0	3,0	1,8
Czas zatrzymania ścieków [doba]: wastewater retention time				
w okresie letnim in Summer period	20	13		16
w okresie zimowym in Winter period	39	27		32



Rysunek 2. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w Ludwinie
[Jóźwiakowski, Kotulska 2006]

Figure 2. Technological scheme of wastewater treatment plant in Ludwin
[Jóźwiakowski, Kotulska 2006]

Objaśnienia: 1 – staw beztlenowy, 2A i 2B – napowietrzany staw tlenowy ze złożem biologicznym zanurzonym, 3 – staw sedimentacyjny, 4 – dopływ ścieków z pompowni, 5 – dopływ ścieków dowożonych, 6 – dopływ ścieków do stawu nr 2A, 7 – dopływ ścieków do stawu nr 3, 8 – odpływ ścieków oczyszczonych, 9 – budynek obsługi oczyszczalni, 10 – punkt zlewny ścieków dowożonych, 11 – aerator liniowy, 12 – złożo biologiczne zanurzone, 13 – mieszacz powietrzny w stawie nr 1, 14 – napowietrzacz mieszający, 15 – pompa mamutowa osadu nadmiernego, 16 – pompa mamutowa recyrkulacyjna, 17 – zasuwa na ominięciu stawu 2A i 2B, 18 – przegroda labiryntowa, 19 – wylot ścieków do rowu A, 20 – pompa kanalizacyjna podciśnieniowa.

Explanation: 1 - anaerobic pond, 2A and 2B - an aerated pond with biological plunged bed, 3 - a sedimentation pond, 4 - inflow of sewage from pumping station, 5 - inflow of brought sewage, 6 - sewage inflow to the pond No. 2A, 7 - sewage inflow to the pond No. 3, 8 - outflow of treated sewage, 9 - the building of service of wastewater treatment plant, 10 - the cast point of brought sewage, 11 - linear aerator, 12 - biological plunged bed, 13 - aerial mixer in pond No. 1, 14 - stirring oxygenator, 15 - the mammoth pump of excess sludge, 16 - the mammoth pump recirculation, 17 - bolt on avoidance pond 2A and 2B, 18 - labyrinth septum, 19 - the outflow of sewage to the ditch A, 20 - sewerage under pressure pump.

Staw nr 1 pełni funkcję akumulacyjną i zatrzymuje zanieczyszczenia mechaniczne (w tym piasek i zawiesiny organiczne) oraz zapewnia beztlenowe oczyszczanie ścieków i fermentację osadów ściekowych. Stawy nr 2A i 2B ze złożem biologicznym zanurzonym o objętości 32 m³ (staw 2A) i 16,2 m³ (staw 2B) są napowietrzane za pomocą rusztu drobnopęcherzykowego, przez co zachodzą w nich procesy biologicznego oczyszczania ścieków. W stawie nr 2B dochodzi do sedimentacji nadmiaru błony biologicznej oraz do jej mineralizacji i zagęszczania na dnie zbiornika. Końcowe doczyszczanie ścieków przebiega w stawie nr 3, gdzie w warunkach tlenowych (przy powierzchni) i beztlenowych (przy dnie) zachodzi ostateczne unieszkodliwianie pozostałych zanieczyszczeń oraz usuwanie związków biogennych – azotu i fosforu [Józwiakowski, Kotulska 2006].

Badania prowadzono w latach 2008-2010. Próbkę ścieków do analiz pobierano sezonowo w lutym, maju, sierpniu i listopadzie w dwóch punktach oczyszczalni: I – z dopływu do stawu nr 1 (ścieki surowe), II – z odpływu ze stawu nr 3 (ścieki oczyszczone). W próbkach ścieków, zgodnie z obowiązującymi metodami [Hermanowicz i in. 1999] określano wartość temperatury, wskaźników BZT₅ i ChZT_{Cr} oraz zawartość azotu ogólnego i fosforu ogólnego. Następnie obliczano efekty usuwania zanieczyszczeń odnosząc je do temperatury ścieków dopływających do oczyszczalni. Ponadto przeprowadzono analizę korelacji wpływu temperatury ścieków na efekty zmniejszania BZT₅, ChZT_{Cr} oraz usuwania azotu ogólnego i fosforu ogólnego. W tym celu wyznaczono współczynniki korelacji liniowej Pearsona, a ich istotność statystyczną potwierdzono testem t-Studenta na poziomie istotności $\alpha=0,05$. Wartości bezwzględne testów t odnoszono do wartości krytycznych odczytanych z tablic rozkładu t-Studenta. Współczynnik korelacji uznaje się za statystycznie istotny, jeżeli: $|t| \geq t_{\alpha_{kr}}$.

WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Temperatury ścieków dopływających do oczyszczalni w Ludwinie były wyraźnie zróżnicowane w zależności od terminu pomiarów. Minimalne wartości notowane w zimowych seriach badań (w lutym) wynosiły 11–12°C. Jak na warunki zimowe są to wartości stosunkowo wysokie, umożliwiające utrzymanie ciągłości procesów oczyszczania ścieków. W okresie wiosennym notowano przyrost temperatury ścieków do poziomu 18,3-19,6°C, zaś latem osiągała ona wartości przekraczające nawet 24°C (tab. 2, rys. 3). Jesienią temperatura ścieków wynosiła około 15°C. W poszczególnych seriach badań warunki termiczne we wszystkich stawach biologicznych były bardzo wyrównane.

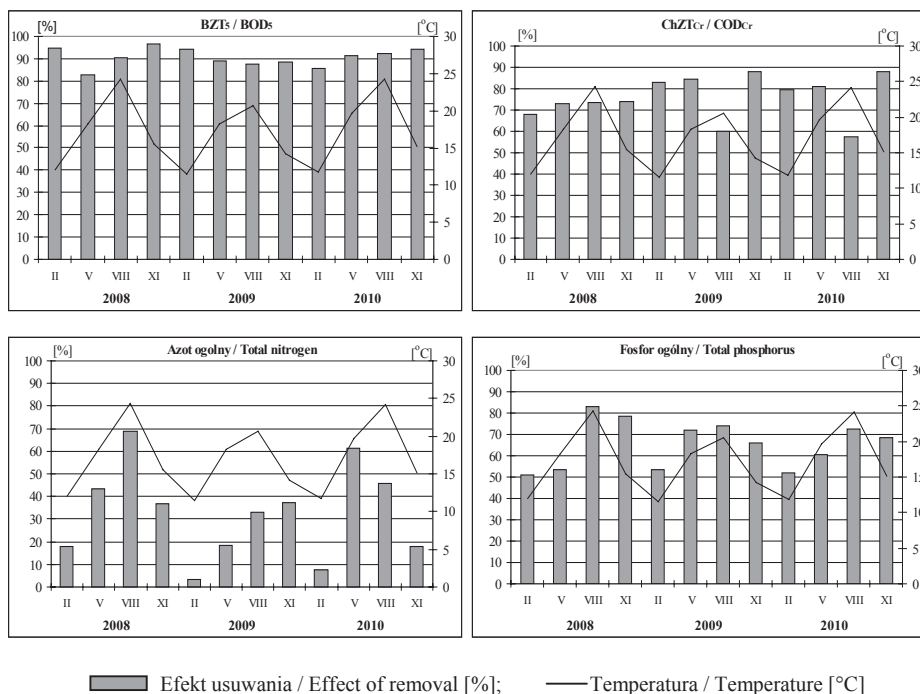
Tabela.2. Charakterystyka ścieków z oczyszczalni w Ludwinie w latach 2008-2010
Table 2. Characteristic of wastewater from treatment plant in Ludwin in 2008-2010

Parametry Parameters	Ścieki surowe Raw sewage				Ścieki po oczyszczalni Sewage after wastewater treatment plant				Efektywność Efficiency [%]			
	min	max	\bar{X}	σ	min	max	\bar{X}	σ	min	max	\bar{X}	σ
Temperatura Temperature [°C]	11,5	24,3	17,3	4,7	9,9	24,4	16,9	5,4	–	–	–	–
BZT ₅ ; BOD ₅ [mg O ₂ ·dm ⁻³]	62	365	191	79	4,6	39,8	19,5	12,5	83,0	96,6	90,7	4,1
ChZT _{Cr} ; COD _{Cr} [mg O ₂ ·dm ⁻³]	230	480	372	80	39	140	90	27	57,7	87,8	75,9	9,8
Azot ogólny Total nitrogen [mg·dm ⁻³]	81	128	98	16	40	92	63	18	3,2	68,8	32,6	20,9
Fosfor ogólny Total phosphorus [mg·dm ⁻³]	22,4	37,4	29,9	3,9	6,3	15,7	10,2	3,1	50,8	83,2	65,4	11,7

\bar{x} – wartość średnia; mean value, σ - odchylenie standardowe; standard deviation

Najniższe efekty usuwania zanieczyszczeń organicznych, wyrażonych za pomocą wskaźnika BZT₅ zanotowano w maju 2008 r. (83%), a najwyższe – w listopadzie 2008 r. (97%). Średnia skuteczność zmniejszania BZT₅ w wieloletnim 2008-2010 wyniosła 90,7% (tab. 2). Podobne wyniki uzyskano w systemach stawów biologicznych w Szkocji [Horan i in. 2006] i w Chinach [Peng i in. 2005]. Rozpatrując efekty zmniejszania BZT₅ na tle zmian temperatury ścieków trudno jednoznacznie wykazać zależność między tymi parametrami (rys. 3). Potwierdza to analiza korelacji liniowej. Wartość bezwzględna testu t jest wyraźnie niższa od wartości krytycznej t (tab. 3), co pozwala stwierdzić, że w omawianym przypadku temperatura ścieków i efekty zmniejszania BZT₅ nie są parametrami skorelowanymi, współzależnymi.

Skuteczność zmniejszania ChZT_{Cr} w oczyszczalni w Ludwinie była bardziej zróżnicowana i oscylowała w granicach od 58% w sierpniu 2010 roku do 88% w listopadzie 2009 i 2010 roku (tab. 2, rys. 3). Średnia efektywność oczyszczalni wyniosła 75,9%, (tab. 2, rys. 3). Podobną skuteczność zmniejszania ChZT_{Cr} (73%) odnotowano w wielostopniowym systemie stawów w Chinach [Peng i in. 2005]. W Ludwinie nie stwierdzono wpływu temperatury ścieków na sprawność procesu usuwania zanieczyszczeń, wyrażonych za pomocą wskaźnika ChZT_{Cr}. Analiza statystyczna wskazuje na występowanie pomiędzy tymi parametrami słabej korelacji ujemnej (tab. 3).



Rysunek 3. Efekty usuwania wybranych wskaźników zanieczyszczeń i temperatura ścieków dopływających do oczyszczalni stawowej w Ludwinie
Figure 3. Effects of selected pollutants removal and temperature of wastewater inflowing to the treatment plant in Ludwin

Średnia efektywność usuwania azotu ogólnego ze ścieków wyniosła 32,6%, przy wyraźnym zróżnicowaniu sezonowym (tab. 2, rys. 3). W okresach jesienno-zimowych azot ogólny usuwany był ze skutecznością nie przekraczającą 37%, a w nielicznych przypadkach spadała ona poniżej 10% – w lutym 2009 i 2010 r. (rys. 3). Efekty usuwania azotu ogólnego wiosną i latem wahały się od 18 do 69%, co może być w dużej mierze determinowane wzrostem temperatury ścieków. Z analizy statystycznej wynika, że te parametry są ze sobą silnie skorelowane (tab. 3). Jest to przykład współzależności dodatniej, w której ze wzrostem temperatury ścieków następuje jednocześnie zwiększenie efektów w zakresie eliminacji azotu. Na występowanie podobnej zależności wskazują w swoich pracach inni autorzy [Mara i in. 1992; Pearson 1996; Horan i in. 2006].

Tabela 3. Analiza korelacji wpływu temperatury ścieków dopływających do oczyszczalni stawowej w Ludwinie na efekty usuwania wybranych wskaźników zanieczyszczeń
Table 3. Analysis of correlation of the impact of wastewater temperature flowing into the biological ponds on effects of selected pollutants removal

	Liczebność grupy Number of group	Współczynnik korelacji Pearsona Pearson coefficient of correlation	Współczynnik determinacji Coefficient of determination	Odchylenie standardowe Standard deviation	Średnia arytmetyczna Arithmetic mean	Wartość testu istotności Value of the significance test	Wartość krytyczna testu (significance level) $\alpha=0,05$ Critical value of the test (significance level) $\alpha=0,05$
Oznaczenie Signature Korelacja Correlation	N	R (X,Y)	R ²	S	SR	t	$t_{\alpha_{kr}}$
Temperatura ścieków Temp. of wastewater	12	-0,16	0,03	4,51	17,12	-0,51	2,280
Zmniejszanie BZT ₅ BOD ₅ reduction				4,11	90,65		
Temperatura ścieków Temp. of wastewater	12	-0,51	0,26	4,51	17,12	-1,88	2,280
Zmniejszanie ChZT _{Cr} COD _{Cr} reduction				10,09	75,87		
Temperatura ścieków Temp. of wastewater	12	0,79	0,63	4,51	17,12	4,11	2,280
Efekty usuwania N _{og.} Effects of total nitrogen removal				20,48	32,60		
Temperatura ścieków Temp. of wastewater	12	0,68	0,46	4,51	17,12	2,93	2,280
Efekty usuwania P _{og.} Effects of total phosphorus removal				11,20	65,35		

Na dużo wyższym i bardziej ustabilizowanym poziomie kształtowała się skuteczność usuwania fosforu ogólnego. Średnio w okresie badań wynosiła 65,4% (tab. 2). Najniższe efekty eliminacji fosforu ogólnego (51-53%) notowano regularnie w okresie zimowym, a najwyższe (73-83%) latem (rys. 3). Analiza

korelacji pozwala uznać skuteczność usuwania fosforu ogólnego i temperaturę ścieków jako parametry statystycznie istotnie skorelowane (tab. 3). Z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że wzrost temperatury ścieków wpływa na usprawnienie procesu eliminacji fosforu ogólnego.

WNIOSKI

Na podstawie analizy wyników uzyskanych z badań można sformułować następujące wnioski:

1. Oczyszczalnia ścieków oparta na systemie stawów wspomaganym zanurzonym złożem biologicznym umożliwia skuteczną eliminację związków organicznych. Średnia efektywność zmniejszania BZT₅ wynosi ponad 90%, a ChZT_{Cr} – blisko 76%.

2. Nie stwierdzono istotnej zależności pomiędzy efektywnością zmniejszania wskaźników tlenowych (BZT₅ i ChZT_{Cr}) a temperaturą ścieków dopływających do oczyszczalni stawowej.

3. Średnia skuteczność usuwania azotu ogólnego i fosforu ogólnego ze ścieków wynosiła odpowiednio 32,6 i 65,3%.

4. Stwierdzono, że efekty usuwania azotu ogólnego i fosforu ogólnego w okresie zimowym były znacznie niższe niż w okresie letnim i istotnie skorelowane z temperaturą ścieków dopływających do oczyszczalni.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010 jako projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr N N523 3495 33.

BIBLIOGRAFIA

- Baoshen W., Wenyi D., Jinlan Z., Xiangdong C. *Experimental study of high rate pond system treating piggery wastewater*. Wat. Sci. and Tech. 34, 11, 1996, 125-132.
- Bojanowska I., Pepliński M. *Optymalizacja pracy oczyszczalni ścieków w Tczewie w zakresie usuwania biogenów i związków węgla*. Ochrona Środowiska 3, 2002, 31-36.
- Cauchie H.M., Hoffmann L., Thome J. P. *Maetazooplankton dynamics and secondary production of *Daphnia magna* (Crustacea) in an aerated waste stabilization pond*. Journal of Plankton Research 22, 12, 2000, 2263-2287.
- Goral R. *Oczyszczanie ścieków w stawach napowietrzanych może być tanie i przyjazne dla środowiska naturalnego*. Wiad. Mel. i Łąk. 4, 1994, 173.
- Henderson S. *Utilisation of silver and bighead carp for water quality improvement*. University of California of Davis, 1979, 31.
- Hermanowicz W., Dojlido W., Dożańska W., Koziorowski B., Zerbe J. *Fizykochemiczne badanie wody i ścieków*. Arkady. Warszawa, 1999, 556.
- Horan N.J., Salih A., Walkinshaw T. *Wind-aerated lagoons for sustainable treatment of wastewaters from small communities*. Water and Environment Journal. Vol. 20, No. 4, 2006, 265-270.

- Ingallinella A.M., Sanguinetti G., Koottatep T., Montangero A., Strauss M. *The challenge of faecal sludge management in urban areas – strategies, regulations and treatment options*. Water Science and Technology 46, 10, 2002, 285-294.
- Józwiakowski K., Kotulska M. *Charakterystyka technologii usuwania zanieczyszczeń w biologicznych stawach ściekowych*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, seria. Inżynieria Środowiska 28, 2006, 97-104.
- Marczonek A., Paluch J., Sarosiek J. *Składniki pokarmowe makrohydrofitów z wód pościekowych w stawach Stacji Doświadczalnej w Szewcach k. Wrocławia*. Acta Universitatis Wratislaviensis 900, Prace Botaniczne, XXXVIII, 1988, 143-165.
- Mara D.D., Alabaster G.P., Pearson H.W., Mills S.W. *Waste Stabilisation Ponds; A Design manual for Eastern Africa*. Lagoon Technology International, Leeds, England, 1992, 121.
- Mbwele L., Runindamayugi M., Kivaisi A., Dalhammar G. *Performance of a small wastewater stabilization pond system in tropical climate in Dare s Salaam, Tanzania*. Wat. Sci. and Tech. 48, 11, 2003, 187-191.
- Nelson K., Cisneros B., Tchobanoglous G., Darby J. *Sludge accumulation, characteristics, and pathogen inactivation in four primary waste stabilization ponds in Central Mexico*. Water Res. 38, 2004, 111-127.
- Ouzzani N., Bouhoum K., Mandi L., Bouarab L., Habbari Kh, Rafiq F., Picot B., Bontoux J., Schwartzbrod J. *Wastewater treatment by stabilization pond: Marrakesh experiment*. Wat. Sci. and Tech. 31, 12, 1995, 75-80.
- Paluch J. *Zmiany niektórych wskaźników i składników zanieczyszczenia w układzie stawów doświadczalnych*. Gosp. Wod. 11, 1995, 299-304.
- Pearson H.W. 1996. *Expanding the horizons of pond technology and application in an environmentally conscious world*. Wat. Sci. and Tech. 33, 7: 1-9.
- Peng Jian-feng, Wang Bao-zhen, Wang Lin. *Multi-stage ponds-wetlands ecosystem for effective wastewater treatment*. J Zhejiang Univ Sci B. 2005, 6 (5), 346–352.
- Racault Y., Bourin C., Seguin A. *Waste stabilization ponds in France: a report on fifteen years experience*. Wat. Sci. and Tech. 31, 12, 1995, 91-101.
- Silva S.A., De Oliveira R., Soares J., Mara D.D. and Pearson H.W. *Nitrogen removal in pond systems with different configurations and geometries*. Wat. Sci. and Tech. 31, 12, 1995, 321-330.
- Thirumurthi D. *Design criteria for waste stabilization ponds*. J. Wat. Pollut. Control Fed., 46 (9), 1974, 2094-2106.

Dr Krzysztof Józwiakowski
Dr inż. Michał Marzec,
Mgr inż. Aneta Pytka
Katedra Melioracji i Budownictwa Rolniczego
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin
tel. +48 81 524 81 23, e-mail: kylo71@tlen.pl

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Krzanowski