

Beata PACHOLEC, Anna ZDANOWICZ

*Miejskie Przedsiębiorstwo
Wodociągów i Kanalizacji
w m. stoł. Warszawie SA*

PROBLEMY EKSPLOATACJI WARSZAWSKICH UJĘĆ INFILTRACYJNYCH W ASPEKcie POSTĘPUJĄCEGO OCIEPLENIA KLIMATU

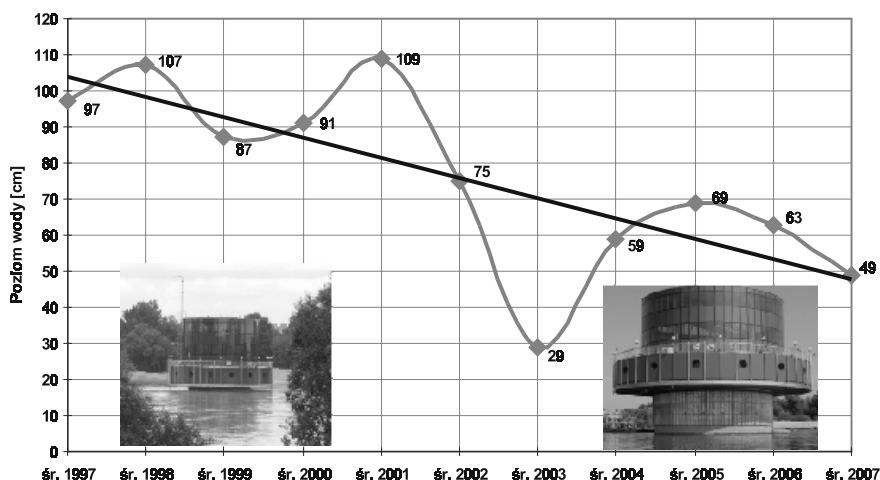
**EXPLOITATION PROBLEMS OF THE WARSAW INFILTRATION WATER
INTAKE IN THE FACE OF CLIMATE CHANGES**

Climate changes may result in increasing number of droughts and floods. This paper described influence of Vistula water level on the work of the Warsaw infiltration water intake (Wodociąg Praski). Authors especially into account analyses the abstraction condition of infiltration water during flood in 2001 and very low water level in Vistula River in 2003

1. Wprowadzenie

W ostatnich dekadach XX wieku na obszarze Polski obserwowano wyraźny i systematyczny wzrost temperatury powietrza. Do najcieplejszych należało ostatnie dziesięciolecie XX wieku [10]. Według klimatologów, po małej epoce lodowej trwającej od 1400 do 1900 roku, począwszy od 1900 roku trwa współczesne ocieplenie klimatu [1], [8]. Objawia się to przede wszystkim coraz cieplejszymi zimami i chłodniejszymi latami. Dla przykładu średnia temperatura w zimie 1830 roku w Warszawie wynosiła $-9,7^{\circ}\text{C}$, podczas gdy w najcieplejszej dekadzie XX wieku, w zimie 1990 roku, średnia temperatura osiągnęła wartość $2,3^{\circ}\text{C}$ [1]. Duży wzrost temperatury w miesiącach zimowych począwszy od ostatniego 10-lecia XX wieku, jest powodem zanikania okresu termicznej zimy. Jest to szczególnie widoczne na obszarze zachodniej Polski [10]. Według Profesora Lorenc z IMGW, w Polsce zanikają pory roku. Zamiast o wiosnie, lecie, jesieni i zimie, lepiej dziś mówić o porze chłodnej i ciepłej. Trudno powiedzieć jaka część postępującego ocieplenia klimatu jest efektem oddziaływania czynników naturalnych, a jaka czynników antropogenicznych. Ocieplenie klimatu w XX wieku to wypadkowa wzrostu aktywności słońca, spadku aktywności wulkanicznej oraz wzrostu efektu cieplarnianego atmosfery [1]. Wzrost temperatury w Europie w ostatnim stuleciu o $0,7-1,2^{\circ}\text{C}$, spowodował, szczególnie w ostatnich latach, nasilenie zjawisk ekstremalnych takich jak na przykład susze czy powodzie. Znalazło to

swoje odbicie w zmianach warunków hydrologicznych Wisły na przestrzeni ostatnich 10 lat, objawiających się częstymi falami wezbraniowymi o dużej dynamice przepływu w latach 1997 – 2001 oraz wydłużonymi okresami susz hydrologicznych w latach 2002 – 2007 (rys.1). Począwszy od 2002 r. obserwuje się wyraźny spadek poziomu wody w Wiśle na przestrzeni czasu, średnio o około 40 cm w porównaniu z latami „mokrymi” (1997-2001) (rys.1). Ma to duże znaczenie w kontekście pracy warszawskich ujęć infiltracyjnych.



Rys. 1. Zmiany poziomu wody w Wiśle na przestrzeni czasu (wartości średnioroczne)

Fig. 1. Water level changes in Vistula river (1997-2007)

2. Praca warszawskich ujęć infiltracyjnych

Prawidłowe funkcjonowanie warszawskich ujęć infiltracyjnych jest zależne od wymiany złoża filtracyjnego na skutek transportu materiału wleczonego wymuszonego naturalną dynamiką rzeki i zachodzących procesów korytowych, mających odmienny charakter przy wysokich i niskich stanach wody. Dodatkowo, na odcinku warszawskim proces transportu rumowiska rzecznoego komplikuje zabudowa hydrotechniczna koryta, w tym także obecność mostów i częściowej regulacji koryta rzeki.

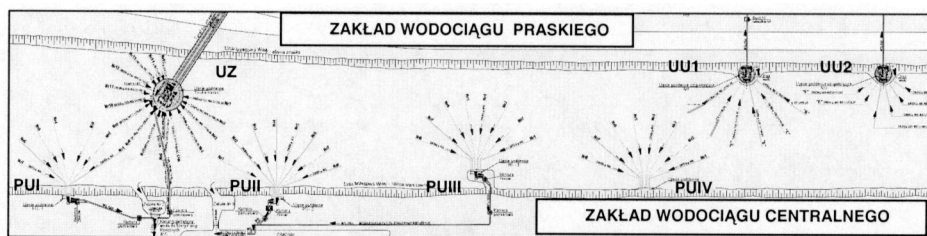
Podłużne ostrogi i tamy spychają nurt w kierunku lewego brzegu. W strefie głównego nurtu analizowanego odcinka rzeki dno koryta zostało pogłębione, co dodatkowo zaburzyło naturalny układ hydrodynamiczny rzeki. Do postępującego obniżenia dna Wisły na odcinku warszawskim przyczyniła się również intensywna eksploatacja kruszywa na potrzeby budownictwa w powojennej dekadzie. Stanowi to duże zagrożenie dla warszawskich ujęć wody [2].

Od poziomu wody w rzece zależy też jakość wody wiślanej, co przekłada się na zróżnicowanie efektywności infiltracji w różnych okresach przechodzenia fali powodziowej oraz przy niskich stanach wody.

Woda wiślana na wysokości ujęć warszawskich nie spełnia wymogów wody przeznaczonej do celów komunalnych w świetle obowiązujących przepisów prawnych. Okresowo w czasie spływów powodziowych jej jakość ulega dodatkowemu pogorszeniu. W ostatnich latach zaobserwowano jednak tendencję spadową substancji organicznych oznaczanych jako TOC i utlenialność (tabela 1). Pozostałe parametry jakości wody pozostają od lat na podobnym poziomie z zachowaniem sezonowości zmian.

Praca warszawskich ujęć infiltracyjnych opiera się na oczyszczaniu wody powierzchniowej na drodze filtracji przez naturalne złoża piaskowo-żwirowe zalegające pod dnem rzeki Wisły.

Woda infiltracyjna dla Zakładu Wodociągu Praskiego ujmowana jest za pomocą studni z promienistym drenażem poddennym (Ujęcie Zasadnicze „Gruba Kaśka”) oraz dwóch studni z poddennym drenażem brzegowym (ujęcia uzupełniające: UU1, UU2), jak również czterema ujęciami PU dla Zakładu Wodociągu Centralnego (rys. 2)



Rys. 2. Usytuowanie warszawskich ujęć infiltracyjnych

Fig.2. Position of the Warsaw infiltration water intake

Szacuje się, że proces infiltracji na ujęciach Wodociągu Praskiego trwa ok. 30 godzin. W czasie przemieszczania się wody w gruncie zachodzi szereg procesów fizycznych, chemicznych i biochemicznych, takich jak m.in. adwekcja, dyspersja, sorpcja, desorpcja, nityfikacja, denityfikacja [3], [11] a także mieszanie z wodami podziemnymi, które kształtują jakość wody infiltracyjnej oraz współdecydują o sprawności jej oczyszczania [3], [4], [5].

Przeciętna efektywność procesu infiltracji na ujęciach Wodociągu Praskiego wyraża się całkowitym zatrzymaniem planktonu, zmniejszeniem liczby bakterii, ok. 90%-owym obniżeniem mętności wody, stężenia żelaza, ok. 75%-owym obniżeniem związków organicznych w okresie lata i 25%-owym w zimie, a także usunięciem azotu amonowego odpowiednio o około 85% i 20 %. Przy długotrwałych niskich stanach wody w Wiśle obserwuje się okresowy wzrost stężenia związków manganu, świadczący o znacznym udziale wód podziemnych w składzie wód infiltracyjnych [7] (tabela 1)

Tab. 1. Porównanie składu wody wiślanej i infiltracyjnej w wybranych latach

Tab. 1. Comparisement of quality Vistula river and infiltration water in varius years

parametr		2001		2003		2007	
		Wisła	Infiltracja	Wisła	Infiltracja	Wisła	Infiltracja
Poziom wody [cm]	śr.	106	-	25	-	54,7	-
	min.	-23	-	-70	-	-65	-
	maks.	611	-	382	-	388	-
Mętność [NTU]	śr.	24	0,5	25	0,3	25	0,14
	min.	4	0,2	2,5	0,1	7,7	0,1
	maks.	262	5,8	360	4	170	1
Barwa [mg/l]	śr.	24,3	15,3	20	11,7	19,3	9,8
	min.	16	10	13	8	10	5
	maks.	120	26,5	38	20	60	16
Ind. Mn [mg/l]	śr.	8	4,2	8,8	3,5	5,6	2,7
	min.	5	3	3,3	2,4	3,3	1,9
	maks.	13,8	7,5	16,8	4,8	9,3	3,8
TOC [mg/l]	śr.	8,7	4,6	8,5	3,6	4,7	3,4
	min.	6	3	5,32	3,1	2,3	2,3
	maks.	12,3	7,5	15,58	5,4	7,27	5,4
Mangan [mg/l]	śr.	0,14	0,05	0,2	0,15	0,2	0,06
	min.	0,07	0,02	0,06	0,01	0,08	0,01
	maks.	0,52	0,16	2,7	0,43	0,48	0,13
Bakterie mezofilne	śr.	901	22	3196	50	9037	21
	min.	110	0	282	0	250	0
	maks.	28000	619	56000	1383	120000	213
Bakterie psychrofilne	śr.	4894	172	12196	241	14916	33
	min.	640	0	500	0	990	0
	maks.	96000	2200	48500	5133	140000	355

Istotne jest, że infiltracja ogranicza amplitudę wahań wartości badanych parametrów jakości wody, na tle sezonowo zmiennego ich składu w Wiśle [9].

Na podstawie wieloletnich doświadczeń stwierdzono, że wysoką skuteczność infiltracji można uzyskać przez prawidłowe usytuowanie ujęcia, utrzymanie ruchu rumowiska, ułożenie drenów na odpowiedniej głębokości z zachowaniem optymalnego przykrycia 5 do 6 metrów oraz zachowanie optymalnych parametrów pracy drenów w zakresie wydajności i depresji.

2.1. Eksploatacja ujęć przy zmiennych stanach wody w Wiśle

Prawidłowa praca ujęcia jest związana m.in. z ciągłym przemieszczaniem się piasku w korycie rzeki. W przypadku zahamowania ruchu rumowiska należy go wymuszać poprzez

plytkie płukanie spulchniaczem hydraulicznym (rys.3). Jest to szczególnie istotne przy niskich stanach wody w rzece.

Na podstawie wieloletnich obserwacji można stwierdzić, że w okresach niskich stanów przy zmniejszonej motoryce rzeki występują charakterystyczne miejsca odkładania się piasku nad drenami poszczególnych ujęć. W rejonie Ujęcia Uzupełniającego nr 2 (UU2) nurt rzeki układa się po stronie brzegu prawego, stąd nad drenami A, B, E i F utrzymuje się optymalne przykrycie 5 do 6 m, zaś nad drenami C i D przykrycie dochodzi o 7 m. Dreny Ujęcia Uzupełniającego nr 1 (UU1) ułożone są wyżej i na końcówkach wypłacone miejscami do 4,8 m. Przy niskich stanach wody w rzece przykrycie waha się od 4 do 6 m.

Z kolei powyżej Ujęcia Zasadniczego „Gruba Kaśka” nurt rzeki układa się po lewej stronie brzegu, co powoduje odkładanie się piasku nad drenami tego ujęcia w postaci wysp bądź tworzenia się przykos powyżej i nad drenami od 1 do 6. Również poniżej studni, nad drenami od 11 do 15, obserwuje się znaczne wypływanie rzeki, miejscami do 70 cm przy czym stwierdza się, że dreny 13, 14 i 15 mają charakter drenów brzegowych i pracują przez większą część roku w wodzie zastoinowej. Średnie przykrycie nad drenami przy niskich stanach wód waha się od 4 do 7 m w całym obszarze infiltracji. Niskie stany wody wymagają prowadzenia procesu płukania eksploatacyjnego złoża nad drenami w systemie ciągłym oraz likwidacji nadmiaru piasku poza obszarem infiltracji dla utrzymania właściwych warunków pracy złoża, zwłaszcza w okresie zimy.

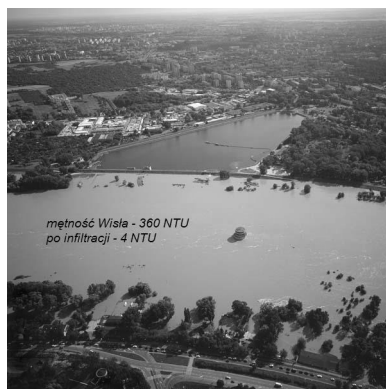


Rys.3. Obraz Wisły w okolicy Ujęcia Zasadniczego (UZ) przy niskich stanach wody

Fig.3. The Picture of Vistula river near UZ in very low water level

Odmienne warunki występują przy gwałtownych przyborach wody i stanach powodziowych. Zwiększenie motoryki rzeki występujące w takich przypadkach, przy jednoczesnym zwężeniu koryta na skutek zarośnięcia brzegów rzeki krzewami i drzewami w strefie wody zalewowej, powoduje porywanie piasku filtracyjnego z obszaru infiltracji ujęć. Zjawisko takie ma miejsce nad drenami A, B, E i F ujęcia UU2 średnio do 2 m oraz nad

wszystkimi drenami ujęcia UU1, co przy wypłyleniu końcówek drenów na tym ujęciu stwarzało niebezpieczeństwo ich odkrycia. W roku 2007 została przeprowadzona modernizacja ujęcia w zakresie wymiany drenów z uwzględnieniem przegłębienia do rzędnej 7,5 m od zera wodociągowego.



Rys.4. Obraz Wisły w okolicy UZ podczas powodzi

Fig.4. The Picture of Vistula river near UZ during flood

3. Analiza wyników

Analizie poddano wybrane lata z ostatniego dziesięciolecia: 2001 i 2003 oraz 2007, charakteryzujące się odmiennymi warunkami hydrologicznymi Wisły. Rok 2001 to rok w których kilkakrotnie występowały gwałtowne zmiany stanów wody w Wiśle, a poziom wody układał się w strefie stanów średnich i wysokich, przy czym w 2001 r. odnotowano najwyższy, na przestrzeni ostatnich lat, poziom Wisły równy 7,3 m. Z kolei rok 2003 charakteryzował się najniższymi stanami wody ostatniej dekady, układającymi się poniżej „0” MPWiK, praktycznie od połowy czerwca do końca grudnia. W roku 2007 mamy do czynienia zarówno z okresem suszy hydrologicznej (lato) jak i z jesiennym wezbraniem po którym nastąpiła stabilizacja na poziomie stanów średnich, co jest bardzo korzystne dla pracy ujęć infiltracyjnych.

Gwałtowne zmiany stanów wody wiślanej jakie występowały po sobie po 6 do 8 razy w krótkich odstępach czasu w roku 2001, skutkowały wzrostem ładunku zanieczyszczeń infiltrującej wody rzecznej, zmniejszeniem przykrycia drenów bez możliwości jego odbudowy poprzez naturalny ruch rumowiska, a także były przyczyną braku możliwości prowadzenia płukania eksploatacyjnego co przekładało się na pogorszenie efektu infiltracji. Do połowy roku 2001 obserwowano wyższe efekty infiltracji po przejściu fali wezbraniowej w okresach stabilizacji do stanów wody średniej niż w trakcie trwania wezbrań, średnio o około 15-20% (tabela 2). W czasie kulminacyjnego spływu powodziowego oznaczano zadawalające efekty infiltracji, ale w krótkim okresie po fali wezbraniowej, kiedy stan rzeki i jakość wody powierzchniowej były w granicach przeciętnych, jakość wody infiltracyjnej

ulegała stopniowemu pogorszeniu. Wskazywało to na coraz większe przeciążenie złoża filtracyjnego po kolejnych wezbraniach rzeki. Świadczyły o tym podwyższone stężenia mętności, związków organicznych, wzrastający poziom bakterii w wodzie infiltracyjnej, a w konsekwencji wysokie dawki dezynfekantów. Taką sytuację obserwowano m.in. w październiku 2001 po kolejnych przyborach rzeki tj. ekstremalnym w sierpniu i następnym we wrześniu (tabela 2; rys.8a). Wówczas skuteczność usuwania związków organicznych stopniowo malała po około 10 %, a mętności około 5%. W efekcie dawki Cl_2 utrzymywały się na wysokim poziomie 2 mg/l przy maksimum 3,2 mg/l i były to najwyższe dawki od 1997 r. (tabela 2)

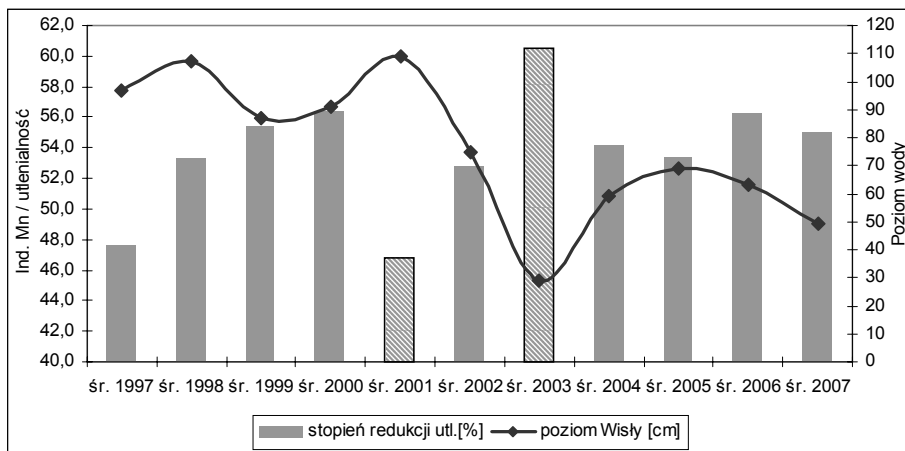
Tab. 2. Skuteczność infiltracji przy następujących po sobie wysokich i średnich stanach wody w Wiśle w roku 2001

Tab. 2. Infiltration process effectiveness in case of high to average water level in 2001 year

	fala wezbra- niowa	średnie stany wody	fala wezbra- niowa	średnie stany wody	kulmi- nacyjna fala wezbra- niowa	średnie stany wody	fala wezbra- niowa	średnie stany wody
Okres	14.04- 16.05.01	17.05- 22.06.01	24.06- 16.07.01	17.07- 21.07.01	22.07- 21.08.01	22.08- 20.09.01	21.09- 10.10.01	12.10- 3.10.01
Poziom wody [cm]	115-454 śr. 203	21-92 śr.41	100-345 śr. 199	55-86 śr.66	109-610 śr. 283	37-95 śr.66	100-226 śr. 153	31-66 śr. 43
OWO [%]	40	69	57	65	52	51	41	33
Utl./In.Mn.[%]	50	69	56	68	52	51	41	31
Absorb. [%]	40	46	50	45	41	27	28	20
Mętność [%]	98	99	99	99	99	98	98	94
dawka Cl_2	2,1	1,7	1,8	2,1	3,2	2,3	2	2
dawka ClO_2	1	0,9	1	1	1	1	1	1

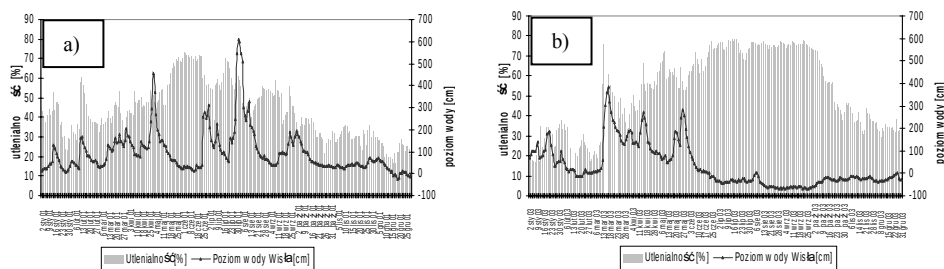
Ma to związek z porywaniem piasku z nad drenów w wyniku zaistniałych wezbrań o dużej dynamice spływu i długim okresie opadania do stanów średnich (przełom lipca i sierpnia 2001). Efektem tego było zmniejszenie przykrycia drenów w całym obszarze infiltracji, zarówno Ujęcia nr 2 jak i Ujęcia Zasadniczego. Nad drenami nurtowymi UU2 (A,B,C, E, F) grubość warstwy filtracyjnej zmniejszyła się o 1,6 – 3,6 m, to znaczy, że przykrycie nad drenami zmniejszyło się do wartości poniżej 4 m (3,0 – 3,8 m). W przypadku Ujęcia Zasadniczego przykrycie nad drenami było różne i w pasie drenów nurtowych ubytek piasku wynosił 0,6 – 1,2 m przy zachowaniu przykrycia 3,6 – 4,5 m. Najmniejsze przykrycie odnotowano nad drenami 14 i 15, w granicach 3,0 – 4,3 m. W pozostałym okresie roku obserwowano powolną odbudowę przykrycia nad drenami w całym obszarze infiltracji ujęć Wodociągu Praskiego.

W roku 2003 charakteryzującym się najniższymi poziomami wody w Wiśle w badanej dekadzie, odnotowano najwyższą skuteczność infiltracji na poziomie ok. 60% (wartości średnioroczne) dla związków organicznych przedstawionych jako utlenialność (rys.5). Wynikało to ze stabilnej sytuacji hydrologicznej w przeciągu prawie całego roku oraz prawidłowo prowadzonej eksploatacji złoża filtracyjnego w zakresie prowadzenia płukań złoża, refulacji sprzętem pogłębiarskim w celu rozplukanie płyczn i wysp piaszkowych, jak również pogłębiania rzeki w celu zwiększenia dynamiki jej przepływu.



Rys.5. Skuteczność usuwania związków organicznych w czasie infiltracji w latach 1997-2007

Fig.5. Effectivnes of organic matter reduction during infiltration in period 1997-2007



Rys.6. Efektywność infiltracji w zakresie usuwania związków organicznych na tle zmian poziomu wody w Wiśle w latach: a) 2001, b) 2003

Fig.6. Infiltration effectivnes in organic matter reduction comparing to Vistula water level changes in years: a) 2001, b) 2003

W roku 2007 nie wystąpiło charakterystyczne wezbranie letnie. Maksymalny poziom wody odnotowano w połowie września (3,87m), po którym nastąpiła stabilizacja na poziomie średnim (0,9 – 1,4 m) utrzymująca się do końca roku. W tym okresie obserwowano dobrą jakość wody surowej w porównaniu z poprzednimi miesiącami, szczególnie w zakresie parametrów fizyko-chemicznych (barwa, mętność, amoniak, TOC, indeks Mn, nasycenie tlenem). Czynniki te wpływały na stabilizację złoza filtracyjnego i utrzymanie efektywności procesu poprzez prowadzenie właściwej eksploatacji w zakresie płukania i obciążenia hydraulicznego drenów. Efektem tego były niskie dawki dezynfekantów (śred-

nio 1,5 mg/l Cl_2 i 0,5 mg/l ClO_2) oraz stabilna praca ujęć: np. „Gruba Kaśka” pracowała z optymalną wydajnością 0,4 – 0,7 l/s/mb drenu i średnią depresją w zakresie od 0,4 m (dreny dół studni) do 1,2 m (dreny brzegowe).

4. Wnioski

Istnieje zależność pomiędzy wysokimi stanami wody w Wiśle i obniżoną skutecznością infiltracji, co w konsekwencji skutkuje wyższymi dawkami dezynfekantów stosowanymi w procesie uzdatniania wody infiltracyjnej.

Stwierdzono tendencję obniżania się efektu infiltracji w zakresie usuwania związków organicznych, jako następstwo występowania po sobie kolejnych fal powodziowych

Właściwie prowadzona eksploatacja złoża filtracyjnego gwarantuje wysoką skuteczność infiltracji nawet przy katastrofalnie niskich stanach wody w Wiśle

Optymalizacja eksploatacji ujęć infiltracyjnych wynikająca z długotrwałych doświadczeń, może prowadzić do stabilności pracy ujęć bez względu na stany wody, pory roku, a także pozwala na uzyskanie wysokiej redukcji zanieczyszczeń w złożu filtracyjnym [6]

Bibliografia

- [1] Boryczka, J., Stopa-Boryczka, M. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XVIII-XXI wieku i ich przyczyny. *Acta Agrophysica*, 2007, 9 (3), 555-570
- [2] Falkowski, T., Kiedrzyńska, L., Nowak, B., Pacholec, B., Złotoszewska-Nedziałek, H. Jakość wód eksploatowanych ujęciem poddennym w Warszawie. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 2004,2 (29) XIII, 126-137
- [3] Kowal, A., Świdarska-Bróż, M. Oczyszczanie wód. PWN Warszawa, 1996
- [4] Kowal, A. On unit processes during infiltration. *Chemistry for protection of the environment. Studies in environmental science* 23, Elsevier, Amsterdam. Mat. Konf., 1984
- [5] Łomotowski, J. Infiltracja jako proces w technologii wody. Wyd. Arkad. Rol. Wrocław, 1994
- [6] Pacholec, B., Koczko, B., Mossakowska, A. Doświadczenia eksploatacyjne ujęcia infiltracyjnego Wodociągu Praskiego w Warszawie. *Ochrona Środowiska*, 1995, 3 (69)
- [7] Mossakowska, A., Pacholec, B., Nowak, B. Wpływ stanów wody w Wiśle na jakość wody infiltracyjnej ujmowanej przez Wodociąg Praski. *Ochrona Środowiska*, 2003, 3 (25), 77-81
- [8] Trepińska, B. Fluktuacje termiczne w Europie od małej epoki lodowej do końca XX wieku. Postęp badań zmian klimatu i ich znaczenie dla życia i gospodarczej działalności człowieka. Wyd. WGRS UW, Warszawa, 2001

- [9] Wąsowski, J., Rypina, A. Jakość i ilość wody ujmowanej przez wodociągi warszawskie do produkcji wody pitnej. IX Seminarium Inst. Zaop. w Wodę i Budownictwa Wodnego. Politechnika Warszawska, Wydz. Inż. Środowiska, 2002, 297-313
- [10] Zawora, T. Temperatura powietrza w Polsce w latach 1991 – 2000 na tle okresu normalnego 1996 – 1990. *Acta Agrophysica* 2005, 6 (1), 281-287
- [11] Zdanowicz, A. Wpływ filtracji przestrzennej na skuteczność działania strefy ekotonowej w procesie oczyszczania wody gruntowej. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2002, t.2, 2 (5), 171-179