

Beata Pacholec, Jacek Wąsowski, Ewa Dąbrowska, Bernard Krekora, Bogdan Nowak

## Analiza pracy ujęć infiltracyjnych Wodociągu Praskiego w Warszawie

Zakład Wodociągu Praskiego jest jednym z trzech zakładów wodociągowych ujmujących i uzdatniających wodę na potrzeby Warszawy. Obecnie do miejskiej sieci wodociągowej z Zakładów Wodociągu Centralnego, Północnego i Praskiego wtłaczana jest woda w ilości około 530 tys. m<sup>3</sup>/d, z czego około 19% pochodzi z Wodociągu Praskiego. Woda uzdatniana w Zakładzie Wodociągu Praskiego ujmowana jest poprzez trzy ujęcia infiltracyjne spod dna Wisły. Ujęcie zasadnicze, tzw. „Gruba Kaśka”, wybudowane zostało w nurcie rzeki, natomiast na jej prawym brzegu, w odległości 1,5 i 2,0 km od stacji uzdatniania, znajdują się dwa ujęcia uzupełniające (UU1 i UU2).

Praca warszawskich ujęć infiltracyjnych bazuje na zasadzie naturalnego oraz bezreagentowego oczyszczania wody powierzchniowej w procesie filtracji przez naturalne złoża piaskowo-żwirowe (utwory czwartorzędowe), zalegające pod dnem Wisły. Woda infiltracyjna ujmowana jest za pomocą studni z promienistym drenazem poddennym („Gruba Kaśka”) oraz studni z poddennym drenazem brzegowym (ujęcia uzupełniające). Dane techniczne drenazy podano w tabelach 1–3.

Szacuje się, iż czas infiltracji w poszczególnych ujęciach trwa 20+30 godz. W czasie pasażu wody w gruncie zachodzi szereg, dokładnie opisanych w literaturze technicznej, jednostkowych procesów fizycznych, chemicznych i biochemicznych oraz mieszanie z wodami podziemnymi, które kształtują jakość wody infiltracyjnej oraz współdecydują o sprawności jej oczyszczania [1–3]. Woda infiltracyjna ze studni przetłaczana jest do stacji uzdatniania Wodociągu Praskiego, w której następuje jej doczyszczanie w procesach napowietrzania, filtracji pospiesznej przez złoża piaskowe i dezynfekcji przy pomocy dwutlenku chloru.

### Charakterystyka techniczna i eksploatacyjna ujęć infiltracyjnych

#### Założenia

W 1950 roku powstała – pod wieloma względami unikatowa – koncepcja budowy ujęć poddennych, za pomocą których woda z Wisły miała być ujmowana przez poziome dreny z zachowaniem następujących założeń:

– ujmowanie wody rzecznej infiltrującej przez pokłady piasków rzecznych, zalegających pod dnem Wisły nad warstwą ilów trzeciorzędowych nieprzepuszczalnych dla wody,

– wybudowanie blisko brzegu średniej wody studni o średnicy 10 m i głębokości 20 m,

– ułożenie 20 poziomych drenów o średnicy 300 mm i długości od 100 do 150 m każdy (dopuszczalna depresja do 14 m poniżej zwierciadła wody w rzece),

– zanieczyszczenia warstwy filtracyjnej nad drenami miały być usuwane przez fale powodziowe oraz ruch rumowiska dennego, dreny zaś miały być przedmuchiwane sprężonym powietrzem oraz okresowo płukane wodą w przeciwnym kierunku,

– w ujmowanej wodzie (w ilości do 200 tys. m<sup>3</sup>/d) udział wód gruntowych miał wynosić kilka procent,

– nie zakładano budowy stacji uzdatniania wody.

W roku 1953 rozpoczęto budowę studni zbiorczej usytuowanej w nurcie rzeki w odległości 50 m od prawego brzegu średniej wody i zagłębionej 30 m pod dnem rzeki, połączonej z brzegiem tunelem o długości 312 m. Budowę studni zakończono w 1957 r. Następnie przystąpiono do układania drenów, które zakończono w 1959 r. próbnym pompowaniem, przy założeniu jednostkowej wydajności drenu około 1,7 dm<sup>3</sup>/m.s. Na podstawie wyników próbnego pompowania zdecydowano o budowie wodociągu o wydajności 225 tys. m<sup>3</sup>/d oraz zrezygnowano z układania drenów w dwóch poziomach i zmniejszono ich liczbę do 15 sztuk o długości do około 100 m każdy. Poziom osi drenów na wyjściu ze studni znajdował się 7,5 m poniżej dna rzeki, zaś rzędne drenów w punktach najbardziej oddalonych od osi studni znajdowały się od 3,5 do 10,6 m poniżej dna Wisły. Pierwsze próbne pompowanie drenów prowadzono przy wysokich depresjach, co spowodowało znaczne zniszczenie drenazu. Po naprawach drenów eksploatację rozpoczęto przy niższych depresjach, od 5 do 6 m, co pozwoliło osiągnąć wydajność studni od 110 do 140 tys. m<sup>3</sup>/d.

Wodę z ujęcia zaczęto tłoczyć bezpośrednio do sieci miejskiej w połowie 1964 r., zaś po opracowaniu pełnej technologii jej uzdatniania, opartej na napowietrzaniu, filtracji pospiesznej i dezynfekcji, od sierpnia 1965 r. podawano wodę do sieci po pełnym ciągu uzdatniania na stacji wodociągowej.

Coraz większe zapotrzebowanie Warszawy na wodę spowodowało podjęcie decyzji o budowie w latach 1969 i 1970 dwóch dodatkowych ujęć infiltracyjnych (UU1 i UU2).

#### Stan obecny

Studnia zasadnicza „Gruba Kaśka” usytuowana na 509 km Wisły ujmuje wodę za pomocą 15 promieniście ułożonych drenów skierowanych w stronę lewego brzegu, o średnicy od 300 do 400 mm i długości od 95 do 165 m (łączna długość drenów wynosi 1956,4 m). Miąższość złoża filtracyjnego nad drenami waha się średnio od 4 do 7 m, w zależności od stanu rzeki i ruchu rumowiska. Średnia wydajność studni waha się od 90 tys. m<sup>3</sup>/d do 120 tys. m<sup>3</sup>/d, co odpowiada jednostkowej

Inż. B. Pacholec, inż. B. Krekora, mgr inż. B. Nowak: Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w m. st. Warszawie, Zakład Wodociągu Praskiego, ul. Brukselska 21, 03–973 Warszawa

Dr inż. J. Wąsowski, mgr inż. E. Dąbrowska: Politechnika Warszawska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Budownictwa Wodnego, ul. Nowowiejska 20, 00–653 Warszawa

Tabela 1. Parametry techniczne drenazowego ujęcia zasadniczego „Gruba Kaśka” na Wodociągu Praskim

Numer drenu	Długość rury pełnej, m		Długość rury perforowanej, m (φ/a)				Długość całkowita, m
	φ300/a	φ325	φ300	φ325	φ350	φ400	
1	14,0	1964	–	100,0/1979	–	48,0/1986	162,0
2	9,0	1964	–	105,0/1982	–	44,0/1986	158,0
3	7,0	1964	–	107,5/1982	–	44,5/1986	159,0
4	8,0	1964	–	98,0/1982	21,0/1997	–	106,0
5	5,0	1964	52,15/1997	34,8/1997	49,91/1994	–	112,95
6	8,5	1964	39,6/1994	51,1/1994	–	–	149,81
	0,7	φ350/1994	–	–	–	–	–
7	10,0	1964	–	100,0/1982	–	–	110,0
8	10,0	1964	–	100,0/1981	–	–	110,0
9	10,0	1964	–	100,0/1981	–	–	110,0
10	10,3	1964	–	105,7/1981	–	44,0/1985	160,0
11	13,0	1964	–	122,0/1979	–	30,0/1985	165,0
				5,6/1995			
12	12,5	1964	–	82,5/1979	–	31,0/1985	126,0
13	8,5	1964	35,85/1996	44,15/1996	30,65/1996	20,5/1996	139,65
14	13,0	1964	–	80,0/1979	–	–	93,0
15	15,0	1964	–	80,0/1979	–	–	95,0
Razem	154,5		75,45	1375,95	80,56	262,0	1956,41

Tabela 2. Parametry techniczne drenazowego ujęcia uzupełniającego UU1 na Wodociągu Praskim

Numer drenu	Długość rury pełnej, m (φ/a)			Długość rury perforowanej, m (φ/a)			Odnogi, m (φ/a)		Długość całkowita, m
	φ300	φ325	φ400	φ273	φ275	φ400	φ285	φ325	
B	43/1978	–	10,9/1992	–	–	172,1/1992	41/1992	25,2/1992	292,2
C	33/1978	–	8,5/1992	–	–	56,6/1992	–	–	197,0
						48,08/1995	–	–	
D	20,6/1978	8,6/1991	–	61,4/1991	–	–	–	–	197
E	20/1978	8,65/1991	–	61/1991	–	–	–	–	139,15
F	20,5/1978	8,5/1991	–	–	64/1991	–	–	–	149
G	42/1978	–	9/1992	–	–	140,9/1992	–	60/1992	2151,9
Ogółem	179,1	25,75	28,4	122,4	64	417,68	41	85,2	1173,26
Łącznie		233,25			813,81		126,2		1173,26

Tabela 3. Parametry techniczne drenazowego ujęcia uzupełniającego UU2 na Wodociągu Praskim

Numer drenu	Długość rury pełnej, m			Kolano, m	Długość rury perforowanej, m					Długość drenu, m	
	φ300	φ325	φ400		φ300	φ325	φ350	φ400	φ450	rura pełna	rura perfor.
A	2,32	–	32,51	1,9	37,19	40,5	49,95	50,1	67,8	34,83	245,54
B	2,24	–	22,8	2,65	49,16	42,06	58,96	60,2	69,45	25,04	279,83
C	2,22	–	18,46	2,7	46,12	52,1	62,9	74,3	73	20,68	308,42
D	2,22	–	18,38	3,7	49,05	65,4	77,41	85	99,89	20,6	376,75
E	–	24,74	–	2,45	49,2	60,7	54,63	58,55	–	24,74	223,08
F	2,24	–	32,21	1,9	49,35	50,3	50,22	59,4	68,23	34,45	277,5
Ogółem	11,24	24,74	124,36	15,3	280,07	311,06	354,07	387,55	378,37		
Łącznie		175,64				1711,12				175,64	1711,12

wydajności 0,6+0,7 dm<sup>3</sup>/m·s, przy depresji 2+4 m. Studnia pracuje przy obniżonym zwierciadle wody z możliwością indywidualnej regulacji wydajności każdego drenu. Nadmiar wody w ilości około 100 tys. m<sup>3</sup>/d od sierpnia 1990 r. kierowany jest przewodem o średnicy 1000 mm, ułożonym pod dnem Wisły, do Zakładu Wodociągu Centralnego.

Ujęcie uzupełniające (UU1), zlokalizowane na 508 km rzeki w linii wody średniej, jest ujęciem brzegowym. Jego drenaż składa się z 6 drenów o średnicy od 300 mm do 400 mm i długości od 140 m do 292 m. Długość całkowita rur wynosi 1173,26 m. Średnia wydajność ujęcia wynosi 60 tys. m<sup>3</sup>/d. Ujęcie uzupełniające (UU2), bliźniacze do UU1 w zakresie budowy i technicznych rozwiązań wewnątrz studni, usytuowane jest w odległości 400 m powyżej ujęcia UU1. Ujęcie to

zostało w latach 1993–1994 poddane modernizacji w pełnym zakresie wymiany drenów wraz ze zmianą ich ułożenia, tj. z układu promienistego na promienisto-równoległy, z zastosowaniem gradacji średnic, całkowitą wymianą złoża filtracyjnego oraz zmianą głębokości posadowienia drenów (obecnie 7,5 m). Średnice drenów wahają się od 300 mm do 400 mm, długość drenów od 250 m do 400 m, a łączna długość perforacji wynosi 1711 m. Ujęcie jest eksploatowane z wydajnością około 90 tys. m<sup>3</sup>/d, przy czym możliwe jest jej zwiększenie do 120 tys. m<sup>3</sup>/d.

#### Doświadczenia eksploatacyjne

Pobieranie od 35 lat wody spod dna Wisły przez Zakład Wodociągu Praskiego doprowadziło do wypracowania optymalnych warunków układania drenów pod dnem rzeki, jak

również właściwej eksploatacji ujęć infiltracyjnych. Stwierdzono, iż wysoką skuteczność infiltracji można uzyskać przez prawidłowe usytuowanie ujęcia, utrzymanie ruchu rumowiska, ułożenie drenów na odpowiedniej głębokości, z zachowaniem optymalnego przykrycia 5+6 m, wymianę złoża filtracyjnego przyjmując  $3,5 \text{ m}^3$  żwiru na 1 mb perforacji drenu oraz zachowanie optymalnych parametrów pracy drenów w zakresie wydajności i depresji. Do prawidłowej pracy ujęcia konieczne jest jego usytuowanie w miejscu, gdzie zapewnione jest ciągłe przemieszczanie się piasku. W wypadku zahamowania ruchu rumowiska należy go wymuszać poprzez płytkie płukanie spulchniaczem hydraulicznym. Jest to bardzo istotne przy niskich i wysokich 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 UU2 nurt rzeki układa się po stronie brzegu prawego, stąd nad drenami A, B, E i F utrzymuje się optymalne przykrycie 5+6 m, zaś nad drenami C i D przykrycie dochodzi do 7 m. Dreny UU1 ułożone są wyżej i na końcówkach wypłycone miejscami do 4,8 m. Przy niskich stanach wody w rzece przykrycie waha się od 4 m do 6 m. Powyżej ujęcia „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 1–6. Również poniżej studni, nad drenami od 11 do 15, obserwuje się znaczne wypłycone rzeki, miejscami do 70 cm, przy czym wyraźnie 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 m do 7 m w całym rejonie infiltracji. Wymaga to stałego prowadzenia procesu płukania złoża nad drenami oraz likwidacji nadmiaru piasku poza obszarem infiltracji dla utrzymania właściwych warunków pracy złoża, zwłaszcza w okresie zimy.

Odmienne warunki występują przy gwałtownych przyborach wody i stanach powodziowych, które obserwuje się w ostatnich latach. Zwiększenie motoryki rzeki, występujące w takich wypadkach, przy jednoczesnym zawężeniu 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 wypłyconiu końcówek drenów na tym ujęciu stwarza niebezpieczeństwo ich odkrycia. Po fali powodziowej w 1997 roku, przy stanie wody 5,53 m, miejscami przykrycie nad drenami dochodziło tylko do 1,8 m. Podobnie w okresie wody wezbraniowej zazwyczaj zmniejsza się przykrycie nad drenami ujęcia zasadniczego średnio od 2 m do 3 m. W warunkach średniej wody prowadzi się płukanie złoża w celu poprawy jego struktury, usunięcia zanieczyszczeń i odpowietrzenia złoża.

Analizując pracę drenów stwierdzono, że w stosunku do pierwszych lat eksploatacji wystąpiła konieczność zmniejszenia ich jednostkowej wydajności, jak również depresji. Obecnie, dla zachowania stabilności pracy ujęć i przedłużenia żywotności drenów, przyjmuje się maksymalną jednostkową wydajność  $0,6-0,9 \text{ dm}^3/\text{s}$  z 1 mb drenu, przy zachowaniu depresji eksploatacyjnej 2+4 m, z założeniem dla nowych drenów depresji od 1 do 2 m. Wzrost depresji, przy samoczynnym obniżeniu wydajności, świadczy o kolmatacji złoża

lub jego zapowietrzeniu, co wymaga stosowania płukania średniego (eksploatacyjnego) do głębokości 3 m od dna złoża i 3,5 m od drenu. Przy braku poprawy efektów stosuje się płukanie głębokie do 0,5 m od drenu. Płukanie takie można wykonywać jednak nie częściej niż raz na 2+3 lata.

W ostatnich latach wypracowano nową metodę układania drenów, która pozwoliła na określenie parametrów wykopu w dniu rzeki pod układany dren, tj. rzędną gwarantującą optymalne przykrycie piaskiem filtracyjnym od 5 do 6 m oraz wykonanie obsypki żwirowej w ilości  $3,5 \text{ m}^3$  na 1 mb drenu, z zachowaniem około  $0,5 \text{ m}^3$  podsypki żwirowej pod drenem. Ciągłe doskonalenie techniki wymiany drenów oraz optymalizacja eksploatacji zapewniają stabilność pracy ujęć infiltracyjnych bez względu na stany wody, porę roku, jak również pozwalają na uzyskanie wysokiego stopnia usuwania zanieczyszczeń w złożu filtracyjnym [4]. Uzyskane doświadczenia techniczne i eksploatacyjne oraz udokumentowane zalety, wynikające z pracy omawianych ujęć infiltracyjnych, pozwoliły na podjęcie decyzji o budowie kolejnych tego typu ujęć dla Zakładu Wodociągu Centralnego. Ujęcia takie – w liczbie czterech – wybudowano na lewym brzegu Wisły i oddano do eksploatacji sukcesywnie w latach 1994–1998.

### **Efekty technologiczne uzdatniania wody w procesie infiltracji**

W celu dokonania oceny pracy ujęć infiltracyjnych Wodociągu Praskiego poddano analizie wyniki badań wody przed i po infiltracji, prowadzonych w latach 1990–1997.

W tabeli 4 zestawiono charakterystyczne wartości wskaźników zanieczyszczenia wody z Wisły w rejonie ujęć infiltracyjnych w rozpatrywanym okresie, natomiast w tabeli 5 zawarte są charakterystyczne wartości uwzględnionych w analizie wskaźników jakości wody wiślanej oraz jakości wody infiltracyjnej z trzech analizowanych ujęć.

Biorąc pod uwagę wyniki analiz wody, stanowiące podstawę do klasyfikacji jakości wody w Wiśle na wysokości ujęć infiltracyjnych, należy stwierdzić, iż jakość wody wiślanej zasługuje na negatywną ocenę jako źródło wody do celów komunalnych w świetle uwarunkowań prawnych, zarówno krajowych jak i europejskich [5,6]. Przeciętny skład fizyczno-chemiczny i bakteriologiczny kwalifikuje obecnie wodę z Wisły do II i III klasy czystości w odniesieniu odpowiednio do 50% i 37,5% wskaźników w fizyczno-chemicznych oraz 50% i 29,1% wskaźników biologicznych, a nawet do wód pozaklasowych, o czym decydują wartości około 12,5% wskaźników fizyczno-chemicznych i 4,2% biologicznych [7].

Przyczyn niskiej jakości wody w Wiśle należy upatrywać przede wszystkim w tym, że zlewnia rzeki obejmuje ponad 25% obszaru Polski, do której odprowadzane są wraz ze ściekami i spływami powierzchniowymi różne zanieczyszczenia, często o wysokim stężeniu, zwłaszcza z terenu Śląska. Rodzaj i ilość substancji dostających się do Wisły decyduje o tym, iż woda wiślane w rejonie Warszawy jest znacznie zasolona, zawiera duże ilości substancji organicznych (w tym zaliczanych do tzw. mikrozanieczyszczeń), jest skażona bakteriologicznie, a także – ze względu na duży poziom biogenów w okresach podwyższonych temperatur – ulega intensywnym zakwitom.

Można stwierdzić, iż skład ilościowy i jakościowy wody w Wiśle, dla charakterystycznych okresów hydrologicznych,

Tabela 4. Charakterystyka jakości wody z Wisły w latach 1990–1997

Parametr, jednostka	Wartość			Wartość dopuszczalna	
	min.	śr.	maks.	I klasa czystości [5]	Kategoria A3 [6]
Temperatura, °C	0,0	11,7	29,0	22	22
Barwa, gPt/m <sup>3</sup>	12,0	36,0	52,0	–	50
Mętność, g/m <sup>3</sup>	4,0	24,7	492,0	–	–
pH,–	7,5	8,3	9,5	6,5+8,5	5,9+9,0
Tlen rozpuszczony, gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	4,6	10,6	18,2	6	–
BZT <sub>5</sub> , gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	0,2	6,8	11,6	4	7
Utlenialność, gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	3,5	7,9	16,3	10	–
ChZT, gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	15,7	36,8	63,7	25	30
Chlorki, gCl/m <sup>3</sup>	26,6	144,0	408,0	250	–
Siarczany, gSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /m <sup>3</sup>	49,4	67,0	110,7	150	200
Substancje rozpuszczone, g/m <sup>3</sup>	348,0	544,0	922,0	500	150
Zawiesiny ogólne, g/m <sup>3</sup>	5,0	34,0	132,0	20	–
Twardość ogólna, gCaCO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup>	160	261	400	350	–
Sód, gNa/m <sup>3</sup>	44,2	86,7	183,6	100	–
Potas, gK/m <sup>3</sup>	3,7	5,7	9,5	10	–
Azot amonowy, gN/m <sup>3</sup>	0,03	0,42	2,5	1	–
Azot azotynowy, gN/m <sup>3</sup>	0,00	0,027	0,08	0,02	–
Azot azotanowy, gN/m <sup>3</sup>	0,00	1,42	3,80	5	10
Azot ogólny, gN/m <sup>3</sup>	1,98	3,57	5,09	5	–
Fosforany, gPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /m <sup>3</sup>	0,02	0,21	0,96	0,2	–
Fosfor ogólny, gP/m <sup>3</sup>	0,13	0,22	0,63	0,1	–
Żelazo ogólne, gFe/m <sup>3</sup>	0,20	0,6	6,80	1	–
Mangan, gMn/m <sup>3</sup>	0,01	0,2	0,85	0,01	1
Chrom ogólny, gCr/m <sup>3</sup>	0,000	0,003	0,01	0,05	0,05
Cynk, gZn/m <sup>3</sup>	0,022	0,074	0,2	0,2	1
Kadm, gCd/m <sup>3</sup>	0,0001	0,001	0,0038	0,005	0,001
Miedź, gCu/m <sup>3</sup>	0,000	0,006	0,05	0,05	1
Nikiel, gNi/m <sup>3</sup>	0,000	0,006	0,014	1	–
Ołów, gPb/m <sup>3</sup>	0,000	0,006	0,064	0,05	0,05
Rtęć, gHg/m <sup>3</sup>	0,000	0,0004	0,001	0,01	0,0005
Fenole lotne, g/m <sup>3</sup>	0,00	0,002	0,01	0,005	0,01
Detergenty anionowe, g/m <sup>3</sup>	0,00	0,03	0,12	0,2	0,2
Miano coll typu kałowego,–	0,0004	0,862	20	1	0,005
OWO, gC/m <sup>3</sup>	3,9	8,8	19,6	–	–

Tabela 5. Charakterystyczne wartości wskaźników zanieczyszczenia wody w Wiśle oraz w wodzie infiltracyjnej na ujęciach „Gruba Kaśka” oraz UU1 i UU2 w latach 1990–1997

Parametr, jednostka	Wisła			„Gruba Kaśka”			UU1			UU2		
	min.	śr.	maks.	min.	śr.	maks.	min.	śr.	maks.	min.	śr.	maks.
Temperatura, °C	0	10,9	29,0	1,0	11,8	28	5,0	11,6	29,0	0	11,7	29
Mętność, g/m <sup>3</sup>	4,0	24,7	492,0	0,1	1,5	7,0	0,3	1,5	18,0	0,1	1,6	0,5
pH,–	7,5	8,3	9,5	7,0	7,8	8,52	7,3	7,7	8,42	7,0	7,8	8,9
Utlenialność, gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	3,5	7,9	16,3	2,3	3,6	6,9	2,3	3,6	7,6	2,2	3,7	7,2
Azot amonowy, gN/m <sup>3</sup>	0,03	0,4	2,5	0,02	0,1	0,8	0,02	0,1	1,2	0,0	0,1	1,3
Tlen rozpuszczony, gO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	4,6	10,6	18,2	1,2	8,9	17,2	0,4	5,3	13,6	0,0	5,9	12
Żelazo ogólne, gFe/m <sup>3</sup>	0,2	0,6	6,8	0,0	0,02	0,27	0,0	0,1	0,85	0,0	0,1	1,2
Mangan, Mn/m <sup>3</sup>	0,01	0,2	0,85	0,0	0,1	1,0	0,0	0,2	1,65	0,0	0,1	1,2

w ciągu ostatnich lat nie uległ większym wahaniom. Istotne zmiany wartości wskaźników jakości wody odnotowano jedynie w lipcu 1997 r. w okresie fali powodziowej, kiedy to mętność wody wynosiła około 500 g/m<sup>3</sup>, barwa – 52 gPt/m<sup>3</sup>,

utlenialność – 16,3 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, absorbancja w UV – 127 m<sup>-1</sup>, zawartość żelaza – 6,8 gFe/m<sup>3</sup>, manganu – 0,85 gMn/m<sup>3</sup>, a także w 1991 r. podczas bardzo niskich stanów wody, czemu towarzyszyły niska temperatura i pokrywa lodowa, kiedy to

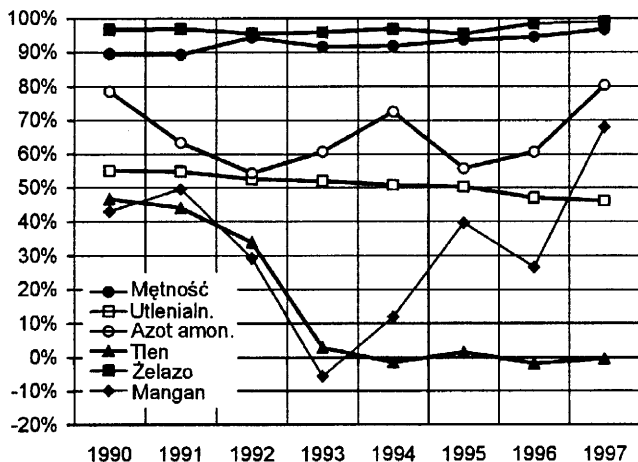
w wodzie odnotowano wysoką zawartość azotu amonowego  $2,4 \text{ gN/m}^3$ . Powyższe zmiany pokazują maksymalne wartości wskaźników podanych w tabeli 4.

Analiza wyników badań wody infiltracyjnej ujmowanej za pomocą poszczególnych ujęć, na tle sezonowo zmiennej składu wody w Wiśle wskazuje, iż w wyniku procesów jednostkowych zachodzących w czasie pasażu wody w gruncie następuje usunięcie z wody wielu zanieczyszczeń, a także obserwuje się korzystne zjawisko ograniczenia amplitudy wahań tych wskaźników (tab.5), co powoduje, iż jakość wody doprowadzanej do stacji uzdatniania Wodociągu Praskiego jest w znacznym stopniu wyrównana. Konsekwencją tego jest możliwość eksploatacji prostego sposobu uzdatniania wody, a także utrzymanie stałych warunków pracy urządzeń technologicznych.

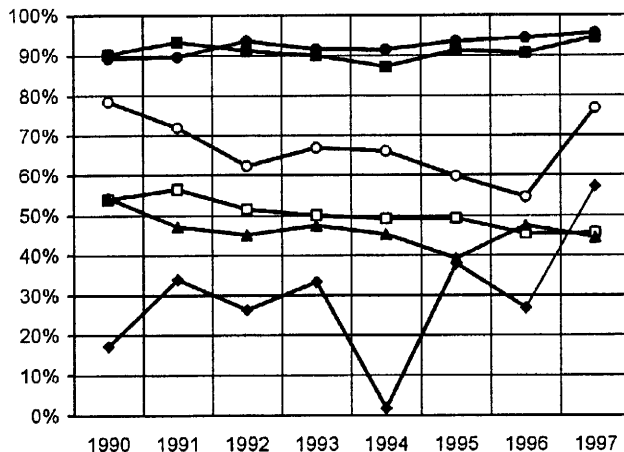
Przedstawione wyżej korzyści wynikające z procesu infiltracji nie uległy zatarciu również w sytuacjach ekstremalnych, tj. w okresie powodzi w lipcu 1997 r. oraz bardzo niskich stanów wody zimą 1991 r. W szczytowym okresie powodzi otrzymywano wodę po infiltracji o następującej jakości: mętność  $3,2 \text{ g/m}^3$ , barwa do  $17 \text{ gPt/m}^3$ , utlenialność do  $4,8 \text{ gO}_2/\text{m}^3$ , absorbancja w UV do  $12,9 \text{ m}^{-1}$ , a zawartości związków żelaza i manganu zmniejszyły się odpowiednio do  $0,03 \text{ gFe/m}^3$  i  $0,1 \text{ gMn/m}^3$ . W lutym 1991 r., przy początkowym stężeniu azotu amonowego w wodzie wiślanej  $2,5 \text{ gN/m}^3$ , woda po infiltracji wykazała jego zawartość na poziomie  $0,48 \text{ gN/m}^3$ .

Należy podkreślić, iż ustabilizowany skład wody infiltracyjnej otrzymywanej w poszczególnych ujęciach uzyskano w wyniku wcześniej opisanych działań modernizacyjnych. Obecnie, zarówno na ujęciu zasadniczym jak i ujęciach uzupełniających, uzyskiwane są zbliżone efekty uzdatniania (rys.1-3), wyrażające się w średnim zmniejszeniu mętności o 92,6%, utlenialności o 50%, azotu amonowego o 66% (przy czym w lecie o 93%, a w zimie o 25%), żelaza o 94%, manganu o 31%, przy czym czasami odnotowuje się przyrost manganu w wodzie, zwłaszcza w sytuacji niskich stanów wody i większego udziału w składzie wód infiltracyjnych wód podziemnych na brzegowych ujęciach uzupełniających.

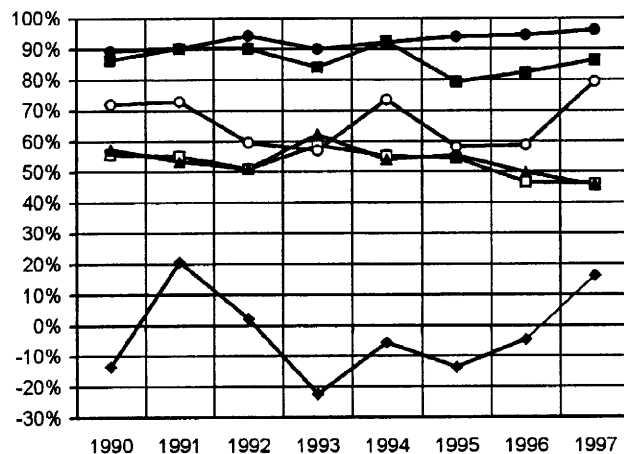
Ubytek tlenu w wodzie po infiltracji oraz spadek pH o około 0,55 świadczą dodatkowo o przemianach biochemicznych zachodzących w złożu filtracyjnym. Poza tym omawiane ujęcia pozwalają na usunięcie planktonu prawie w 100% i bakterii w około 95%.



Rys. 1. Średnie efekty oczyszczania wody z Wisły w procesie infiltracji na ujęciu „Gruba Kaśka”



Rys. 2. Średnie efekty oczyszczania wody z Wisły w procesie infiltracji na ujęciu UU1 (oznaczenia jak na rys. 1)



Rys. 3. Średnie efekty oczyszczania wody z Wisły w procesie infiltracji na ujęciu UU2 (oznaczenia jak na rys. 1)

Woda infiltracyjna kierowana z ujęć do stacji uzdatniania Wodociągu Praskiego wykazuje w zakresie podstawowych wskaźników wody przeznaczonej do picia i celów gospodarczych okresowe przekroczenia zawartości związków żelaza i manganu (o czym decyduje woda zwłaszcza z ujęć brzegowych), azotu amonowego i utlenialności. W wodzie tej również odnotowuje się brak lub niskie stężenie tlenu (tab.5). Biorąc pod uwagę zwiększone wymagania jakościowe wody do picia, określone w dyrektywach WHO, UE i podążających za nimi propozycjach przepisów krajowych, jak również ograniczenia związane z ilością i rodzajem ubocznych produktów powstających w wodzie podczas dezynfekcji, niezbędne jest doczyszczanie wody uzyskiwanej w obecnym układzie technologicznym stacji uzdatniania Wodociągu Praskiego. Aby sprostać tym zadaniom, MPWiK w m. st. Warszawie, we współpracy m.in. z Politechniką Warszawską, podjęło działania zmierzające do modernizacji zakładu, przede wszystkim poprzez rozbudowanie układu uzdatniania wody o proces ozonowania i sorpcji na granulowanym węglu aktywnym oraz zamianę środka dezynfekcyjnego z chloru na dwutlenek chloru.

### Wnioski

◆ Zadowolająca praca ujęć infiltracyjnych wynika przede wszystkim z usytuowania ujęć w miejscu zapewniającym ciągły ruch rumowiska rzecznej, odpowiedniego ułożenia drenów, a także płukania złoża spulchniaczem hydraulicznym, w zależności od stanu wody, zanieczyszczenia złoża oraz kolmatacji drenów.

♦ Zmiany jakości wody w wyniku infiltracji i uzyskiwane efekty tego naturalnego i bezreagentowego uzdatniania należy zaliczyć do typowych dla dobrze pracujących ujęć infiltracyjnych. Dzięki właściwej lokalizacji ujęć, modernizacji ułożenia drenów oraz ich poprawnej eksploatacji, pomimo zmian jakości wody w Wiśle, ujęcia infiltracyjne pozwalają na uzyskanie wody o małej amplitudzie wahań wartości poszczególnych wskaźników jakości wody, nawet w sytuacjach ekstremalnych, jak np. powódź 1997 r., czy też zima w 1991 r. Na podkreślenie zasługuje spadek w czasie infiltracji zawartości azotu amonowego w wodzie, otrzymywany również przy niskich temperaturach, co świadczy o istnieniu w złożu infiltracyjnym sprzyjających warunków dla przebiegu m.in. procesów nityfikacji.

#### LITERATURA

1. A. L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓŹ: *Oczyszczanie wody*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa–Wrocław 1996.
2. A. L. KOWAL: On unit processes during infiltration. Proc. conf. "Chemistry for protection of the environment", Studies in Environmental Science, 23, Elsevier, Amsterdam 1984.
3. J. ŁOMOTOWSKI: *Infiltracja jako proces w technologii wody*. Wyd. Akad. Roln., Wrocław 1994.
4. B. KOCZKO, B. PACHOLEC, A. MOSSAKOWSKA: Doświadczenia eksploatacyjne ujęcia infiltracyjnego Wodociągu Praskiego w Warszawie. *Ochrona Środowiska*, 1995, 3(58), ss 41–43.
5. Rozp. MOŚZNIŁ z 5-11-91 w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi (Dz. U. nr 116, poz. 503).
6. Dyrektywa Unii Europejskiej 75/440/EEC z 17-06-1975, dotycząca jakości wód powierzchniowych przeznaczonych dla zaopatrzenia ludności w wodę.
7. Program poprawy jakości wody z Wodociągów Układu Centralnego w Warszawie. Wyd. Techn. Biura Zarządu m. Warszawy, MPWiK, Warszawa 1999 (praca nie publikowana).

### Analyzing the Yield of the Infiltration Wells Made Use of by the Warsaw Waterworks

*Following statistical analysis of the data sets obtained in the timespan of 1990–1997, the technological effects of infiltration water treatment were estimated and related to water quality variations in the Vistula River. Consideration was also given to the problems emerging during operation of the infiltration water*

*intakes, as well as to the requirements that must be met in order to enable a smooth operation of the drainage system. Particular attention was focused on the operation of the infiltration wells during low water in the winter of 1991 and during flood in the summer of 1997.*