

FARMACEUTYKI W WODACH RZECZNYCH ORAZ ICH MIGRACJA DO UJĘĆ INFILTRACYJNYCH W KRAJKOWIE

PHARMACEUTICALS IN RIVER AND BANK FILTRATE WATER IN KRAJKOWO (POLAND)

ROKSANA KRUC¹, KRZYSZTOF DRAGON¹, JÓZEF GÓRSKI¹

Abstrakt. W 2018 r. na ujęciu infiltracji brzegowej w Krajkowie wykonano oznaczenia farmaceutyków w wodach rzecznych i infiltracyjnych. Przeprowadzono trzy serie badań: w rzece Warcie, piezometrach i studniach usytuowanych w różnych odległościach od rzeki (38–250 m) oraz w studni promienistej z drenami zlokalizowanymi 5 m pod dnem rzeki. Łącznie analizie poddano 75 substancji, w tym antybiotyki, leki przeciwbólowe, przeciwzapalne, psychotropowe, β -blokery oraz środki kontrastowe promieniowania X. Kilka spośród badanych parametrów, np. jomeprol czy jopromid, wykryto jedynie w wodach rzecznych. Najczęściej występującymi substancjami zarówno w wodach powierzchniowych, jak i infiltracyjnych były: karbamazepina, gabapentyna, tramadol, oksypurinol, flukonazol oraz lamotrygina. Najwyższe stężenia farmaceutyków wykryto w wodach powierzchniowych. Koncentracje te ulegały jednak redukcji na drodze przepływu z rzeki do studni i otworów obserwacyjnych. W studni promienistej i otworze zlokalizowanym w odległości 38 m od rzeki uzyskano niski stopień redukcji farmaceutyków w stosunku do rzeki. Wyższe stopnie redukcji osiągnięto w studniach położonych w odległości 64–82 m od rzeki. W otworze 78b/1s, oddalonym o 250 m, zachodziła stuprocentowa redukcja większości badanych substancji. Na podstawie badań ustalono, że najkorzystniejsza odległość, przy której należy lokalizować studnie ujęć infiltracji brzegowej, w kontekście usuwania mikrozanieczyszczeń wynosi 200 m, przy czym znaczne stopnie redukcji można uzyskać już w odległości 60–80 m.

Słowa kluczowe: infiltracja brzegowa, farmaceutyki w wodach powierzchniowych, farmaceutyki w wodach infiltracyjnych, stopień redukcji farmaceutyków, mikrozanieczyszczenia organiczne.

Abstract. In 2018, determination of pharmaceuticals in river and infiltration water was carried out at a riverbank filtration site in Krajkowo. Three sampling campaigns were conducted: in the Warta River, in wells located at different distances from the river (38–250 m), and in a horizontal well with drains located 5 m below the river bottom. In total, 75 substances were analyzed, including antibiotics, analgesics, anti-inflammatory, psychotropic drugs, β -blockers and X-ray contrast agents. Several of the tested substances, e.g. iomeprol and iopromide, were detected only in river water. The most common substances, both in surface and infiltration waters, were carbamazepine, gabapentin, tramadol, oxypurinol, fluconazole and lamotrigine. The highest concentrations of pharmaceutical were detected in surface water. However, these concentrations were reduced by the flow path. The horizontal well and the observation well located close to the river are characterized by a low reduction of pharmaceuticals. Higher removal rates were achieved in wells located at a distance of 64–82 m. At point 78b/1s, located 250 m away, there is a 100% reduction of most of tested parameters. Based on the research, it was found that the most favourable distance at which the riverbank filtration wells should be located, is more than 200 m: however, significant removal rates can already be obtained at a distance of 60–80 m.

Key words: riverbank filtration, pharmaceuticals in surface water, pharmaceuticals in bank filtrate, removal rate of pharmaceuticals, organic micropollutants.

¹ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, ul Krygowskiego 12, 61-680 Poznań; e-mail: roksana.kruc@amu.edu.pl, smok@amu.edu.pl, gorski@amu.edu.pl.

WSTĘP

Infiltracja brzegowa stanowi coraz bardziej popularną metodę pozyskiwania wody przeznaczonej do spożycia. Jest szeroko stosowana zarówno w Polsce, jak i na świecie. Wymuszona infiltracja wód powierzchniowych do systemu wód gruntowych pozwala na uzyskanie dużej ilości wody, zwłaszcza w aluwialnych warstwach wodonośnych położonych na obszarach nizinnych (Kovačević i in., 2017; Dragon i in., 2018). Infiltracja wód powierzchniowych przez utwory wodonośne powoduje poprawę jakości wody w wyniku zachodzących procesów, m.in. rozcieńczenia, sorpcji, biodegradacji czy rozpuszczania (Hiscock, Grischek, 2002; Maeng i in., 2010). Zachodzi także proces mieszania się wód powierzchniowych z wodami podziemnymi (Forizs i in., 2005; Lasagna i in., 2016).

Mimo korzystnego wpływu procesu infiltracji, jakość wód pozyskiwanych z tego typu ujęć jest silnie zależna od jakości wód rzecznych, które zwykle są zanieczyszczone. W ostatnich latach w wodach powierzchniowych wykrywane są nowe zanieczyszczenia, m.in. farmaceutyki. Jest to związane z rosnącym spożyciem leków zarówno przez ludzi, jak i zwierzęta. Występowanie farmaceutyków, takich jak antybiotyki, leki przeciwbólowe czy środki kontrastowe promieniowania X, jest dokumentowane w rzekach w Europie (Hamann i in., 2016; Kovačević i in., 2017; Szymonik i in., 2017), w tym także w rzece Warcie (Kasprzyk-Hordern i in., 2007).

Wody rzeczne wraz z zanieczyszczeniami migrują do otworów monitoringowych i studni (Massmann i in., 2008;

Maeng i in., 2010). Wskutek przepływu wód przez warstwę wodonośną, zanieczyszczenia ulegają jednak redukcji. Infiltracja brzegowa stanowi więc pierwszy, naturalny stopień uzdatniania wody (Hamann i in., 2016). Dzięki wykorzystaniu infiltracji brzegowej, koncentracje mikrozanieczyszczeń w studniach są na tyle niskie, że pozwala to na uproszczenie technologii dalszego uzdatniania wody metodami inżynierskimi.

Celem prezentowanych badań było udokumentowanie występowania farmaceutyków w wodach rzecznych oraz infiltracyjnych, a także określenie stopnia redukcji mikrozanieczyszczeń na drodze przepływu z rzeki do studni i otworów obserwacyjnych.

CHARAKTERYSTYKA UJĘCIA

Oznaczenia farmaceutyków w wodach rzecznych i infiltracyjnych wykonano na ujęciu infiltracji brzegowej w Krajkowie koło Poznania. Ujęcie składa się z czterech elementów (fig. 1):

- 29 studni zlokalizowanych na tarasie zalewowym, w odległości 64–82 m od rzeki Warty;
- 56 studni zlokalizowanych na tarasie nadzalewowym, w odległości 400–1000 m od rzeki Warty;
- studni promienistej z 8 drenami zlokalizowanymi 5 m pod dnem rzeki;
- oraz 11 studni wraz z 4 stawami do prowadzenia sztucznej infiltracji, które nie zostały objęte badaniami farmaceutyków.

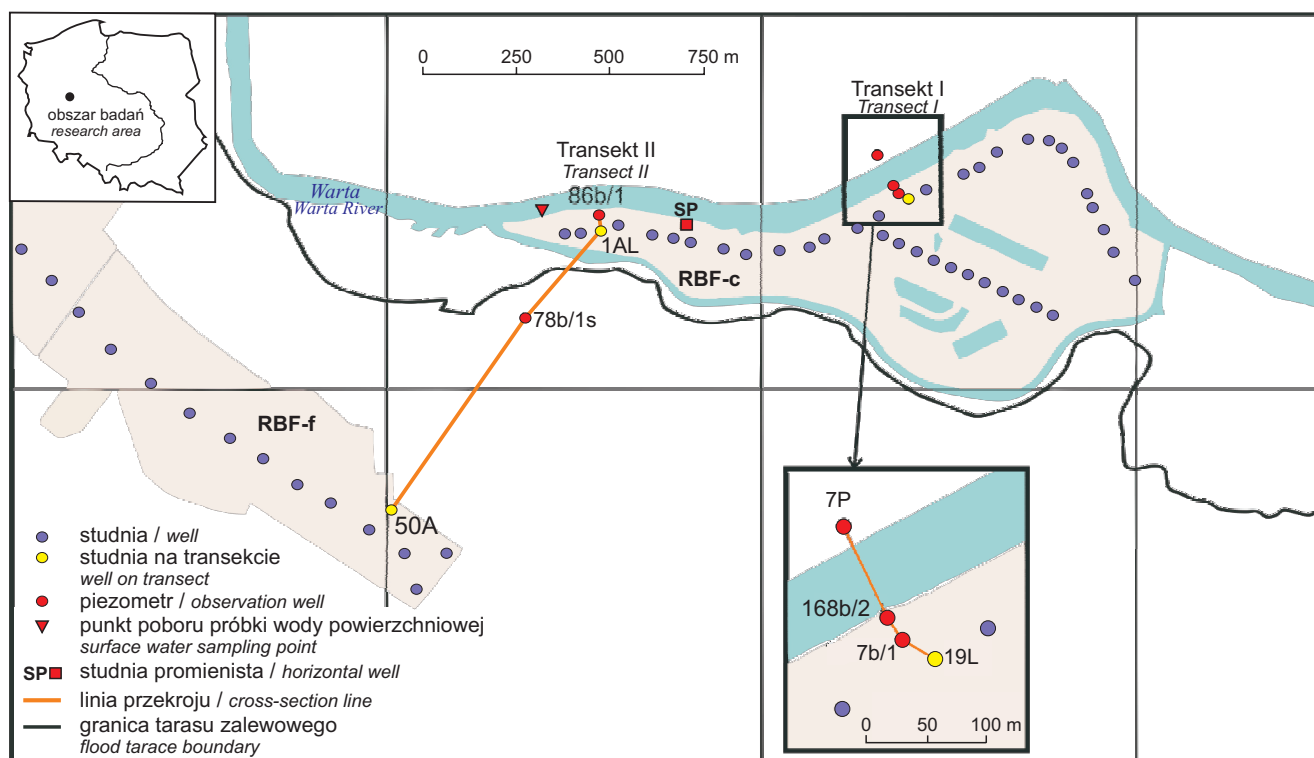


Fig. 1. Mapa sytuacyjna ujęcia w Krajkowie

Situation map of the well field in Krajkovo

Ujęcie infiltracji brzegowej w Krajkowie jest zlokalizowane w korzystnych warunkach hydrogeologicznych. Jest to obszar nakładania się dwóch głównych zbiorników wód podziemnych. Miąższość warstwy wodonośnej wynosi 40 m. Górna część warstwy wodonośnej jest zbudowana z osadów pradoliny warszawsko-berlińskiej, a głębsza część z osadów wielkopolskiej doliny kopalnej. Warstwa wodonośna jest zbudowana z drobno- i średnioziarnistych piasków fluwialnych oraz różnoziarnistych piasków i żwirów fluwio-glacialnych (fig. 2). Podczas prowadzonych badań ujęcie pracowało z wydajnością 70 000 m³/d.

METODY BADAŃ

Do obserwacji farmaceutyków w wodach wyznaczono dwa transekty obejmujące punkty na drodze przepływu wody z rzeki do otworów obserwacyjnych i studni (fig. 1). Transekt 1 obejmuje rzekę Wartę, piezometr 177b/1 oraz studnię 19L (łączna długość 64 m). Transekt nr 2 obejmuje rzekę Wartę, studnię 1AL oraz otwór obserwacyjny 78b/1s (łączna długość 250 m). Dodatkowo analizowano także wody ze studni promienistej (SP) (tab. 1).

Badania przeprowadzono w trzech seriach badawczych: w lipcu, sierpniu oraz październiku 2018 r. Pobory obejmowały te same punkty obserwacyjne: wody rzeczne, piezometry i studnie. Próbkę wód z piezometrów pobierano przy użyciu pompy MP-1 (Grundfos, Bjerringbro, Dania). Studnie w okresie badań były stale eksploatowane. Próbkę pobierano

do szklanych butelek i przewożono w lodówce. Następnie zamrożono i przetransportowano do laboratorium w Pilźnie (Povodí Vltavy VHL, Pizno).

Do oznaczeń farmaceutyków wykorzystano chromatografię cieczową (LC-MS/MS) oraz ultrasprawną chromatografię cieczową (UHPLC MS/MS).

WYNIKI

Przeprowadzone oznaczenia farmaceutyków w wodach obejmowały 75 substancji (tab. 2). Oznaczono m.in. antybiotyki, leki przeciwbólowe, przeciwzapalne i psychotropowe, β -blokery, środki kontrastowe promieniowania X, a także używki, jak kofeina czy słodziki.

Najwyższe stężenia badanych substancji wykryto w rzece Warcie. Stężenia ulegają jednak redukcji na drodze przepływu z rzeki do otworów (fig. 3). Na spadek stężeń wpływa odległość determinująca czas przepływu do otworu. Część substancji wykryto jedynie w rzece (jopromid, diklofenak, penicylina G, sacharyna, johexsol, cotinina, paraksantyna, klinwamycyna, feksofenadyna i walsartan) lub w najbliższych otworach, takich jak studnia promienista z drenami zlokalizowanymi w odległości 5 m od dna rzeki lub piezometr 177b/1 – 38 m (kofeina, sulfapyrydyna, sotalol i telmisartan). Najczęściej występującymi substancjami w wodach infiltracyjnych były: karbamazepina, gabapentyna, tramadol, oksypurinol, flukonazol i lamotrygina.

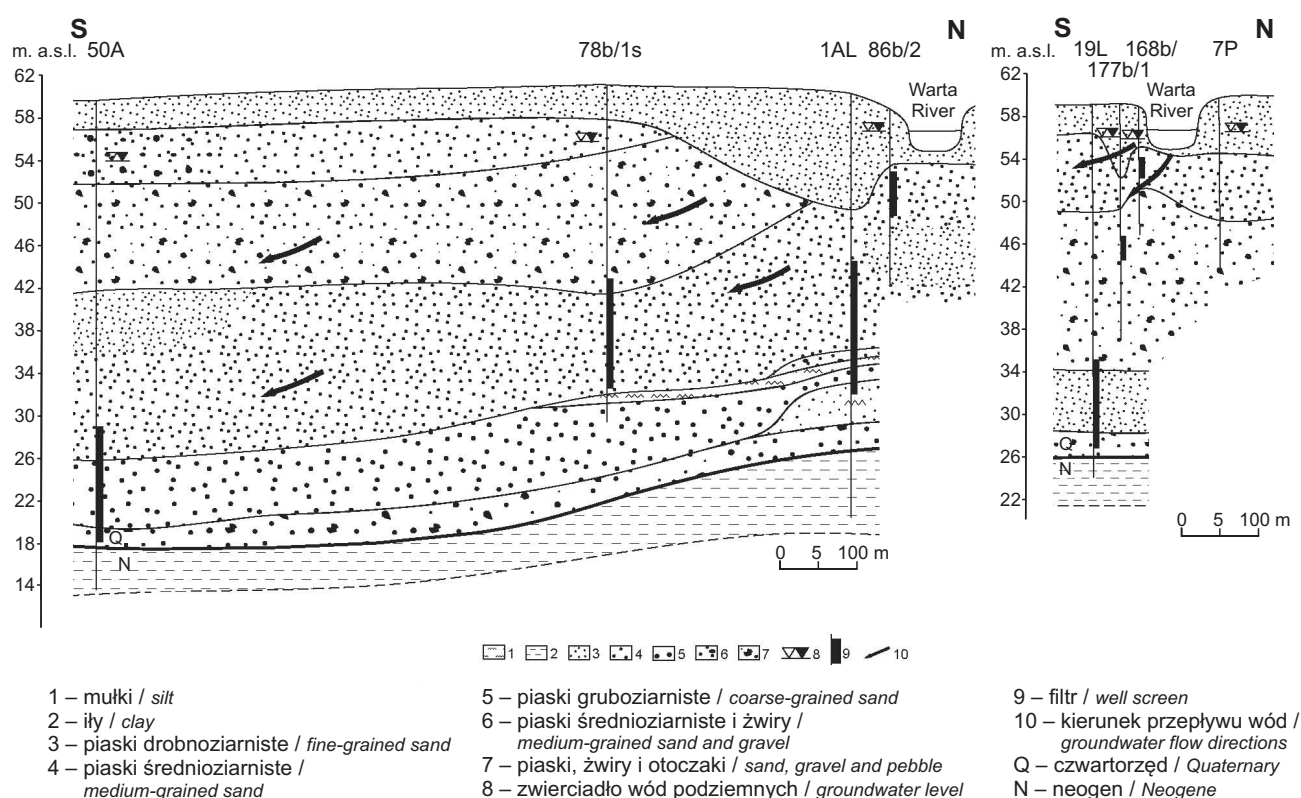


Fig. 2. Przekroje hydrogeologiczne obejmujące dwa transekty przedstawione na figurze 1

Cross-sections along transects shown in Figure 1

Tabela 1

Charakterystyka punktów poboru próbek
Characteristics of sampling points

Punkt poboru próbki	Lokalizacja	Odległość od rzeki [m]	Głębokość do filtra [m]	Udział wód infiltracyjnych [%]	Czas przepływu [dni]
Rzeka Warta	–	–	–	–	–
Studnia promienista	dreny pod dnem rzeki	–	5 m pod dnem rzeki	100	1
Piezometr 177b/1	taras zalewowy	38	12,5–14,5	90	24
Studnia 19L	taras zalewowy	64	24,0–32,0	65–85	40
Studnia 1AL	taras zalewowy	82	16,5–32,5	65–85	50
Piezometr 78b/1s	taras nadzalewowy	250	18,0–28,0	60	150

Koncentracje farmaceutyków w rzece Warcie oraz w najbliższej położonej studni – studni promienistej – są bardzo zbliżone (tab. 3). Wynika to z małej odległości (5 m) dzielącej dno rzeki od drenów studni promienistej, co skutkuje krótkim czasem przepływu (1 d). Większość substancji występujących w wodach ze studni promienistej, wykryto także w piezometrze 177b/1, oddalonym o 38 m od rzeki. Znaczą-

cy spadek stężeń zauważono w studniach 19L i 1AL, gdzie większość parametrów ulegała całkowitej redukcji. Studnie te dzieli 64–82 m od rzeki, a czas przepływu wynosi 40–50 dni. Najniższe koncentracje mikrozanieczyszczeń wykryto w otworze obserwacyjnym 78b/1s (odległość 250 m, czas przepływu 150 d). W tym punkcie powyżej granicy oznaczalności występuje jedynie karbamazepina i gabapentyna.

Tabela 2

Lista badanych substancji w ng/dm³
List of substances tested (in ng/dm³)

Parametr	LOQ	Parametr	LOQ	Parametr	LOQ
karbamazepina	<10	sacharyna	<50	alfuzosin	<10
erytromycyna	<10	gabapentyna	<10	bisoprolol	<10
sulfametoksazol	<10	tramadol	<10	celiprolol	<10
jopromid	<50	klarytromycyna	<10	citalopram	<20
ibuprofen	<20	roksytromycyna	<10	clinwamycin	<10
diklofenak	<20	azytromycyna	<10	cyklofosfamid	<10
jopamidol	<50	karbamazepina-DH	<10	diltiazem	<10
atenolol	<10	okskarbazepina	<10	feksofenadyna	<10
kofeina	<100	ibuprofen-2-hydroxy	<30	flukonazol	<10
ketoprofen	<10	ibuprofen-carboxy	<20	fluoksetyna	<10
metoprolol	<10	diklofenak-4-hydroxy	<20	jomeprol	<50
penicylina g	<10	naproksen-O-desmet.	<20	irbesartan	<10
sulfamerazin	<10	venlafaksyn	<10	ivermectin	<10
sulfametazin	<10	sertralina	<10	lamotrygina	<10
sulfapirydyna	<10	ranitydyna	<10	lowastatyna	<10
trimetoprim	<10	joheksol	<50	memantyna	<20
furosemid	<10	karbamazepina-2-hydr.	<10	mirtazapina	<10
gemfibrozil	<50	kwaz kofibrynowy	<10	fenazon	<10
hydrochlorotiazid	<10	kotynina	<20	prymidon	<10
naproksen	<50	paraksantyna	<100	propranolol	<10
triklokarban	<10	bisfenol B	<50	propyfenazon	<10
triklosan	<20	bisfenol S	<50	simwastatyna	<10
chloramfenikol	<20	oksypurinol	<50	sotalol	<10
bezafibrat	<10	tiamulina	<10	telmisartan	<20
warfaryna	<10	acebutolol	<10	walsartan	<10

LOQ – granica oznaczalności / limit of quantification

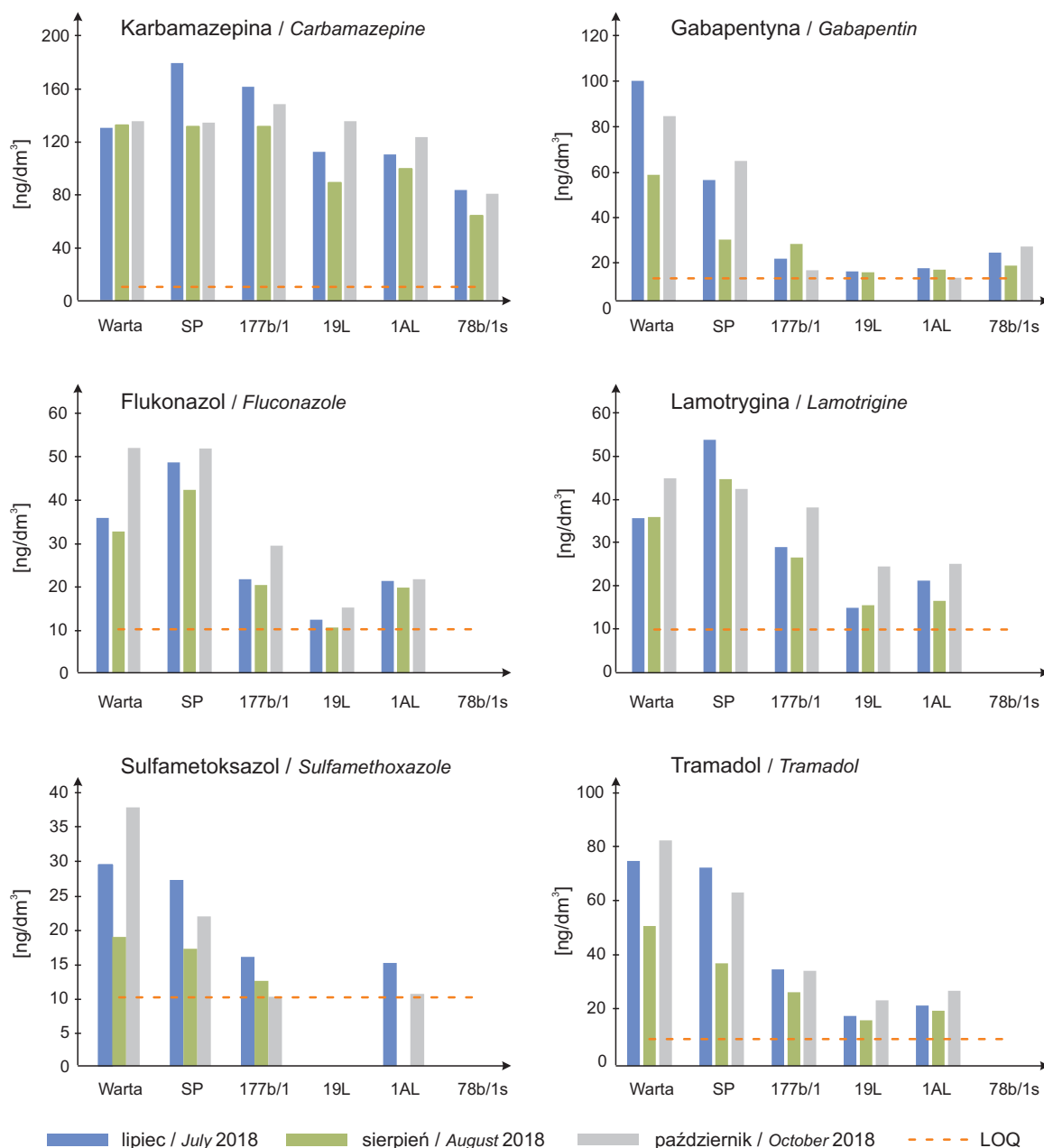


Fig. 3. Stężenia wybranych farmaceutyków

Concentrations of selected pharmaceuticals

Stężenia farmaceutyków w wodach rzecznych kształtują się od $10,8 \text{ ng/dm}^3$ (sulfapirydyna) do 1470 ng/dm^3 (paraksantyna). Najwyższe stężenia wykrytych farmaceutyków osiąga oksypurinol: 1050 ng/dm^3 w rzece Warcie, 1350 ng/dm^3 w studni promienistej oraz 345 ng/dm^3 w studni 1AL. Najwyższa koncentracja zanieczyszczeń występowała podczas poboru w sierpniu 2018 r.

W tabeli 4 przedstawiono stopnie redukcji farmaceutyków w pięciu punktach zlokalizowanych w różnych odległościach od rzeki. Najniższy stopień redukcji występuje w studni promienistej, której drenaży umieszczone są 5 m pod dnem rzeki. Kilka spośród badanych parametrów wykazuje

wyższe stężenia w studni promienistej w stosunku do rzeki. Wynika to z wysokich koncentracji zanieczyszczeń w rzece, w okresie przed przeprowadzeniem badań. Zróżnicowane wartości stopnia zanieczyszczeń zauważono w piezometrze 177b/1 (–29,6–100%). Podobne wartości osiągnęte są w studniach 19L i 1AL. W najdalej położonym punkcie – 78b/1s większość parametrów jest całkowicie usuwana.

Stopień redukcji farmaceutyków zależy od lokalizacji otworu (odległość od rzeki oraz czas przepływu), a także od podatności danej substancji na zachodzące procesy. Najniższą redukcję wykazuje karbamazepina (lek psychotropowy), która w punkcie oddalonym od rzeki o 250 m, ulega redukcji

Tabela 3

Stężenia farmaceutyków w ng/dm³
Concentration of pharmaceuticals (in ng/dm³)

	LOQ	Lipiec 2018						Sierpień 2018						Październik 2018					
		Warta	SP	177 b/1	19L	1AL	78b/1s	Warta	SP	177 b/1	19L	1AL	78 b/1s	Warta	SP	177 b/1	19L	1AL	78 b/1s
Karbamazepina	<10	130	179	161	112	110	83,1	132	131	131	88,6	99	63,6	135	134	148	135	123	80,3
Sulfametoksazol	<10	29,3	27,1	15,9	nw	15	nw	18,8	17,1	12,4	nw	nw	nw	37,7	21,8	10,1	nw	10,5	nw
Jopromid	<50	149	nw	nw	nw	nw	nw	59,8	nw	nw	nw	nw	nw	105	nw	nw	nw	nw	nw
Jomeprol	<50	94,7	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw
Diklofenak	<20	24,5	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	37,4	nw	nw	nw	nw	nw
Kotynina	<20	30,9	nw	nw	nw	nw	nw	50,8	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw
Joheksol	<50	120	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	90	nw	nw	nw	nw	nw
Kofeina	<100	154	nw	nw	nw	nw	nw	1350	nw	140	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw
Metoprolol	<10	11,9	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	19,6	nw	nw	nw	nw	nw
Penicylina G	<10	nw	nw	nw	nw	nw	nw	13	nw	nw	nw	nw	nw	17,1	nw	nw	nw	nw	nw
Sulfapyridin	<10	nw	10,7	14,2	nw	nw	nw	nw	nw	11,7	nw	nw	nw	10,8	11,2	13	nw	nw	nw
Sacharyna	<50	111	nw	nw	nw	nw	nw	360	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw
Gabapentyna	<10	97	53,3	18,7	13	14	21,3	55,6	27	25,2	12,6	13,8	15,6	81,5	61,7	13,5	nw	10,2	24
Tramadol	<10	76,1	73,7	35,9	19	22	nw	52	38,1	27,4	17	20,5	nw	83,8	64,4	35,3	24,4	27,9	nw
Paraksantyna	<100	163	nw	nw	nw	nw	nw	1470	nw	104	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw
Oksypurinol	<50	388	1350	503	237	345	nw	610	1100	486	130	228	nw	1050	1010	652	260	317	nw
Klinwamycyna	<10	12,7	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	12,2	nw	nw	nw	nw	nw
Feksofenadyna	<10	40,7	nw	nw	nw	nw	nw	28,9	nw	nw	nw	nw	nw	33,2	nw	nw	nw	nw	nw
Fluconazole	<10	35,6	48,4	21,5	12	21	nw	32,5	42,1	20,2	10,4	19,6	nw	51,7	51,6	29,2	15	21,5	nw
Lamotrigine	<10	35,8	54	29,1	15	21	nw	36,1	44,9	26,7	15,6	16,6	nw	45,1	42,6	38,3	24,6	25,2	nw
Primidone	<10	nw	12,4	nw	nw	nw	nw	nw	10,4	nw	nw	nw	nw	nw	10,2	11,6	nw	nw	nw
Sotalol	<10	23,3	nw	nw	nw	nw	nw	14,3	nw	nw	nw	nw	nw	50,3	14,1	nw	nw	nw	nw
Telmisartan	<20	140	62,5	nw	nw	nw	nw	132	52	nw	nw	nw	nw	136	60,5	nw	nw	nw	nw
Walsartan	<10	61,1	nw	nw	nw	nw	nw	23	nw	nw	nw	nw	nw	28,9	nw	nw	nw	nw	nw
Wenlafaksyna	<10	12,1	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw	nw

LOQ – granica oznaczalności / limit of quantification; nw – nie wykryto / not detected

o 36,1–51,8%. Podobne wartości redukcji osiąga sulfametoksazol (antybiotyk), gabapentyna (lek przeciwpadaczkowy) czy tramadol (lek przeciwbólowy) już w punkcie oddalonym o zaledwie 38 m od rzeki. Karbamazepina jest trudna do usunięcia mimo lokalizacji studni w dużej odległości od rzeki i długiego czasu przepływu. Najwyższy stopień redukcji spośród wykrywanych parametrów osiąga gabapentyna,

jednak w żadnym z badanych punktów nie jest ona całkowicie usuwana.

Sulfametoksazol, tramadol, oksypurinol, flukonazol czy lamotrigina są parametrami występującymi w otworach położonych bliżej rzeki (studnia promienista, 177b/1) i redukowanymi w otworach oddalonych o co najmniej 64 m – 19L, 1AL czy 78b/1s.

Tabela 4

Stopień redukcji wybranych farmaceutyków w %
Removal rate of selected pharmaceuticals (in %)

	SP			177b/1			19L			1AL			78b/1s		
	VII 2018	VIII 2018	X 2018	VII 2018	VIII 2018	X 2018	VII 2018	VIII 2018	X 2018	VII 2018	VIII 2018	X 2018	VII 2018	VIII 2018	X 2018
Karbamazepina	-37,7	0,8	0,7	-23,8	0,8	-9,6	13,8	32,9	0,0	15,4	25,0	26,7	36,1	51,8	40,5
Sulfametaksazol	7,5	9,0	42,2	45,7	34,0	73,2	100,0	100,0	100,0	48,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Gabapentyna	45,1	51,4	24,3	80,7	54,7	83,4	86,5	77,3	100,0	85,2	75,2	83,1	78,0	71,9	70,6
Tramadol	3,2	26,7	23,2	52,8	47,3	57,9	75,6	67,3	70,9	70,6	60,6	75,5	100,0	100,0	100,0
Oksypurinol	-247,9	-80,3	3,8	-29,6	20,3	37,9	38,9	78,7	75,2	11,1	62,6	78,3	100,0	100,0	100,0
Flukonazol	-36,0	-29,5	0,2	39,6	37,8	43,5	65,7	68,0	71,0	40,7	39,7	62,1	100,0	100,0	100,0
Lamotrygina	-50,8	-24,4	5,5	18,7	26,0	15,1	58,1	56,8	45,5	40,5	54,0	63,2	100,0	100,0	100,0

Uzyskane wyniki wskazują, że znaczna redukcja farmaceutyków osiągnięta jest w otworach oddalonych o 64–82 m od rzeki, przy czym wyższe wartości redukcji, a nawet całkowite usunięcie większości parametrów następuje przy odległości 250 m.

PODSUMOWANIE

Badania przeprowadzone na ujęciu infiltracji brzegowej w Krajkowie koło Poznania wykazały występowanie farmaceutyków, w tym: antybiotyków, leków przeciwbólowych, przeciwzapalnych oraz psychotropowych, β -blokerów, kontrastów promieniowania X oraz używek, np. kofeiny, w wodach rzecznych i infiltracyjnych. Analizy obejmowały 75 różnych substancji, z czego 25 wykryto w wodach rzecznych, a 13 w wodach infiltracyjnych.

Największe koncentracje farmaceutyków występowały w rzece Warcie (oksypurinol 1050 ng/dm³, paraksantyna 1470 ng/dm³, kofeina 1350 ng/dm³). W punktach badawczych, zlokalizowanych na drodze przepływu wody z rzeki do piezometrów i studni zaobserwowano spadki koncentracji. Także ilość wykrywanych farmaceutyków malała wraz ze wzrostem odległości od rzeki.

Dzięki zastosowaniu infiltracji brzegowej farmaceutyki są naturalnie usuwane. Infiltracja brzegowa stanowi pierwszy proces uzdatniania wód. W studni promienistej zaobserwowano najniższy stopień redukcji farmaceutyków. Wody te tylko nieznacznie różnią się jakością od wód rzecznych. Wynika to z małej odległości ułożenia drenów, a co za tym idzie krótkiego czasu przepływu. W studniach 1AL i 19L, oddalonych o 64–82 m, stopień redukcji wykrywanych substancji wynosi 70–80%, a duża część badanych farmaceutyków jest całkowicie usuwana. Największym stopniem redukcji charakteryzuje się punkt 78b/1s, gdzie wykryto jedynie karbamazepinę oraz gabapentynę. Punkt 78b/1s oddalony jest od rzeki o 250 m.

W opisanych warunkach hydrogeologicznych korzystne w aspekcie usuwania farmaceutyków jest zlokalizowanie studni w odległości 60–80 m od rzeki. Aczkolwiek najwięk-

szy stopień redukcji można uzyskać, lokalizując studnie w odległości większej niż 200 m od rzeki.

LITERATURA

- DRAGON K., GÓRSKI J., KRUC R., DROŹDŹYŃSKI D., GRISCHEK T., 2018 – Removal of Natural Organic Matter and Organic Micropollutants during Riverbank Filtration in Krajkowo, Poland. *Water*, **10**: 1457.
- FORISZ T., BEREZC Z., MOLNAR Z., SUVEGES M., 2005 – Origin of shallow groundwater of Csepel Island (south of Budapest. Hungary. River Danube): isotopic and chemical approach. *Hydrol. Proc.*, **19**: 3299–3312.
- HAMANN E., STUYFZANW P.J., GRESKOWIAK J., TIMMER H., MASSMANN G., 2016 – The fate of organic micropollutants during long-term/long-distance river bank filtration. *Science of the Total Environment*, **545/546**: 629–640.
- HISCOCK K.M., GRISCHEK T., 2002 – Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. *J. Hydrol.*, **266**: 139–144.
- KASPRZYK-HORDERN B., DĄBROWSKA A., VIENO N., KRONBERG L., NAWROCKI J., 2007 – Occurrence of acidic pharmaceuticals in the Warta River in Poland. *Chem. Anal.*, **52**: 289–303.
- KOVAČEVIĆ S., RADIŠIĆ M., LAUŠEVIĆ M., DIMKIĆ M., 2017 – Occurrence and behavior of selected pharmaceuticals during riverbank filtration in The Republic of Serbia. *Environ. Sci. Pollution Res.*, **24**: 2075–2088.
- LASAGNA M., DE LUCA D.A., FRANCHINO E., 2016 – Nitrates contamination of groundwater in the western Po Plain (Italy): the effects of groundwater and surface water interactions. *Environ. Earth Sci.*, **75**: 240.
- MAENG S.K., AMEDA E., SHARMA S.K., GRUTZMACHER G., AMY G.L., 2010 – Organic micropollutant removal from wastewater effluent-impacted drinking water sources during bank filtration and artificial recharge. *Water Res.*, **44**: 4003–4014.
- MASSMANN G., SULTENFUß J., DUNNBIER U., KNAPPE A., TAUTE T., PEKDEGER A., 2008 – Investigation of groundwater residence times during bank filtration in Berlin: a multi-tracer approach. *Hydrol. Proc.*, **22**: 788–801.
- SZYMONIK A., LACH J., MALIŃSKA K., 2017 – Fate and removal of pharmaceuticals and illegal drugs present in drinking water and wastewater. *Ecologic. Chem. Engin. S.*, **24**, 1: 65–85.

SUMMARY

Riverbank filtration is a popular method of water pre-treatment. Infiltration of surface water by aquifer causes the improvement of water quality as a result of various processes, including dilution, sorption, biodegradation and dissolution. Despite the positive impact of the infiltration process, the water quality strongly depends on the quality of river water, which is usually polluted. In recent years, micropollutants including pharmaceuticals were detected in surface water. Polluted river water migrates to the wells. The purpose of the study was to document the occurrence of pharmaceuticals in river and infiltration waters, and to determine the removal rate of the pharmaceuticals along the flow path from the river to the wells. The research was carried out on the

riverbank filtration site in Krajkowo (Poznań, Poland) in July, August and October 2018. Studies involved 6 sampling points, in which 75 parameters were analyzed (antibiotics, anti-inflammatory, psychotropic drugs, β -blockers, X-ray contrast agents). The pharmaceuticals have been detected both in the Warta River (25 substances) and in wells and observation wells (13 substances). The concentrations of pharmaceuticals detected in river water were between 10.8 ng/dm³ (sulfapyridine) and 1,470 ng/dm³ (paraxantine). The highest concentration were achieved by oxypurinol: 1,050 ng/dm³ in the Warta River, 1,359 ng/dm³ in a horizontal well, and 345 ng/dm³ in the 1AL well. The highest concentration of micropollutants occurred during the August 2018 sampling

campaign. Sulphamethoxazole, tramadol, oxypurinol, and fluconazole or lamotrigine are the parameters present in the wells located closer to the river (horizontal well, 177b/1) and reduced in the wells located at least 64 m away: 19L, 1AL, 78b/1s. The highest concentrations of the sum of micropollutants were found in the Warta River. Similar concentrations were obtained in the horizontal well, which is characterized by the short travel time and distance from the river (drains located 5 m below the river bottom, travel time 1 day). Sampling points located further away are characterized

by a higher removal rate of pharmaceuticals. In the wells located at a distance of 64–82 m, most of the parameters are completely reduced. The highest removal rate was detected in the observation well 78b/1s (distance 250 m, travel time 150 days).

In a similar hydrogeological condition, a favourable well location is 60–80 m from the river. However, the largest removal rate can be obtained by locating the wells at a distance of more than 200 m from the river.