

**Tomasz FALKOWSKI¹, Lidia KIEDRYŃSKA², Bogdan NOWAK³,
Beata PACHOLEC³, Hanna ZŁOTOSZEWSKA-NIEDZIAŁEK¹**

¹Katedra Geoinżynierii SGGW

Department of Geotechnical Engineering WAU

²Katedra Budownictwa i Geodezji SGGW

Department of Civil Engineering and Geodesy WAU

³MPWiK S.A. Warszawa, Zakład Wodociągu Praskiego

Warsaw Multicipal Water and Wastewater Enterprise

Jakość wód eksploatowanych ujęciem poddenym w Warszawie

Quality of water from the under bottom infiltration intake in Warsaw

Słowa kluczowe: woda powierzchniowa, woda infiltracyjna, ujęcie poddenne, jakość wody

Key words: surface water, infiltration water, under bottom water intake, water quality

Wprowadzenie

W artykule przedstawiono niektóre wyniki prac prowadzonych w ramach tematu badawczego (grantu uczelnianego SGGW) „Zmiany morfologii koryta rzeki w warunkach silnej antropopresji i ich wpływ na jakość wód ujęć poddennych na przykładzie Wisły w Warszawie”.

Podstawowym źródłem zaopatrzenia Warszawy w wodę są rzeka Wisła oraz Zalew Zegrzyński. Woda ujmowana z Wisły pokrywa obecnie około 70% potrzeb miasta. Skład i właściwości

pobieranej wody decydują w dużej mierze o stosowanym cyklu technologicznym ich uzdatniania. W pewnym stopniu mają one także wpływ na jakość wody dostarczanej do miejskiej sieci wodociągowej.

Metale ciężkie wprowadzane do środowiska wodnego nie ulegają degradacji, lecz najczęściej są deponowane w osadach dennych. Przeważająca ich część ulega wytrąceniu oraz sorpcji na powierzchniach cząstek mineralnych osadów. Zjawiska te uzależnione są od szeregu czynników zarówno natury chemicznej, jak i fizycznej i są specyficzne dla różnych środowisk sedymentacyjnych (Osmęda-Ernst 1991). Tylko niewielka część znajdujących się w środowisku wodnym metali ciężkich znajduje się w roztworze. Osady dennie, pełniące względem tych substancji rolę

bufora, odgrywają ważną rolę w regulowaniu właściwości fizykochemicznych wód powierzchniowych.

Jednym ze sposobów ujmowania wód rzecznych są ujęcia poddenne. Ich zasadniczym elementem konstrukcyjnym są wychodzące promieniście ze studni zbiorczej dreny, które posadzone są pod dnem koryta, najczęściej w warstwie aluwiów facji korytowej, charakteryzujących się dobrą wodoprzepuszczalnością. Drenami pompowana jest woda rzeczna, infiltrująca w dół przez aluwia.

Jakość eksploatowanych wód zależy w dużej mierze od miąższości warstwy aluwialnej przykrywającej dreny, a także od granulacji utworów aluwialnych i stopnia ich zagęszczenia. Podniesienie poziomu wody i zwiększenie głębokości przeróbki aluwiów związane jest z pogorszeniem jakości eksploatowanych wód i wymaga korekty technologii ich uzdatniania (Mossakowska i in. 2003).

Prawidłowe funkcjonowanie ujęć poddennych zależy od wymiany złoża filtracyjnego, które następować powinno samoczynnie w efekcie procesów korytowych. Transport materiału wleczanego odbywa się poprzez przemieszczanie większych form dennych – rozkład w czasie transportu ziaren jest nierównomierny, ma charakter pulsacyjny.

Na odcinku Wisły warszawskiej proces transportu rumowiska komplikują:

1. Budowa geologiczna strefy korytowej doliny Wisły (Falkowski 1990). W rejonie Warszawy w dolinie Wisły zaznacza się zwężenie szerokości tarasu współczesnego, nazywane „gorsetem warszawskim”. W pod-

łożu aluwiów na tym odcinku występują kulminacje i depresje zbudowane z glin zwałowych, osadów zastoiskowych i fluwioglacjalnych, a także iłów plioceńskich.

2. Zabudowa hydrotechniczna koryta, w tym także obecność mostów. Ostrogi i tamy podłużne „spychają” nurt w kierunku lewego brzegu. W strefie głównego nurtu w dolnej części analizowanego odcinka dno koryta zostało pogłębione. Nadcięcie powierzchni stropu trudno rozmywalnego podłoża aluwiów zaburzyło dodatkowo naturalny układ hydrodynamiczny koryta.
3. Intensywna eksploatacja kruszywa z dna Wisły. Według opinii Kornackiego (1960) i Zielińskiej (1960), koryto Wisły na odcinku warszawskim od końca lat 40. ulega stałemu obniżaniu. Przyczyną tego zjawiska mogła być intensyfikacja poboru kruszywa z koryta na potrzeby budownictwa (Skibiński 1963). W ostatnich latach intensywne obniżanie poziomu dna rejestrowano w rejonie wodowskazu Nadwilanówka (Dobrowolski i inni 1995). Obniżanie dna koryta uznawane jest za zagrożenie dla warszawskich ujęć wody.

W okresie obserwacyjnym w Wiśle dominowały przepływy niskie. Przeprowadzone badania batymetryczne (echosondaż) wykazały w tym czasie niewielkie zmiany morfologii dna koryta w rejonie analizowanego ujęcia. Miąższość „naturalnego złoża filtracyjnego” w okresie obserwacyjnym można za stałą.

Cel badań

Celem badań było określenie dynamiki zmian jakości wody wiślanej w rejonie ujęć warszawskich w czasie jednego roku (2003) oraz stopień oczyszczania wód przepływających przez warstwę aluwiiwacji korytowej, leżących ponad drenami ujęcia zasadniczego Wodociągu Praskiego (Gruba Kaśka). Nie analizowano procesu uzdatniania eksploatowanej wody.

Metodyka i zakres prac

W ramach tematu badawczego zebrano i przeanalizowano wyniki analiz fizykochemicznych wody wiślanej oraz wody z ujęć poddrennych przed uzdatnieniem (z okresu od stycznia 2003 r. do lutego 2004 r.), wykonanych przez MPWiK Warszawa S.A. i znajdujących się w jego archiwum. Wyniki charakterystycznych wskaźników jakości wody ujmowanej z Wisły oraz wody infiltrującej przez warstwę osadów korytowych pod dnem rzeki zestawiono w formie graficznej. Przedstawiono efektywność redukcji zanieczyszczeń uzyskiwaną w czasie infiltracji.

W ramach prac terenowych i laboratoryjnych pobrano osady z dna koryta ponad drenami ujęcia. Wyznaczono stężenie metali ciężkich kadmu, miedzi i cynku z osadów dennych oraz izotermy adsorpcji dla kadmu, miedzi i cynku.

Metale ciężkie oznaczono metodą instrumentalną bezplamieniowej absorpcyjnej spektrometrii atomowej aparatem Solar 969Z z korekcją tła Zeemana.

Proces adsorpcji opisano za pomocą izotermy Langmuira, parametry „ K^L ” i „ b ” wyznaczono na podstawie warto-

ści współczynników izotermy przedstawionej w formie liniowej:

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{K^L} + \frac{1}{K^L \cdot b} \cdot \frac{1}{C_r}$$

gdzie:

x – ilość zaadsorbowana w osadzie [g/kg],

K^L – pojemność osadu [g/kg],

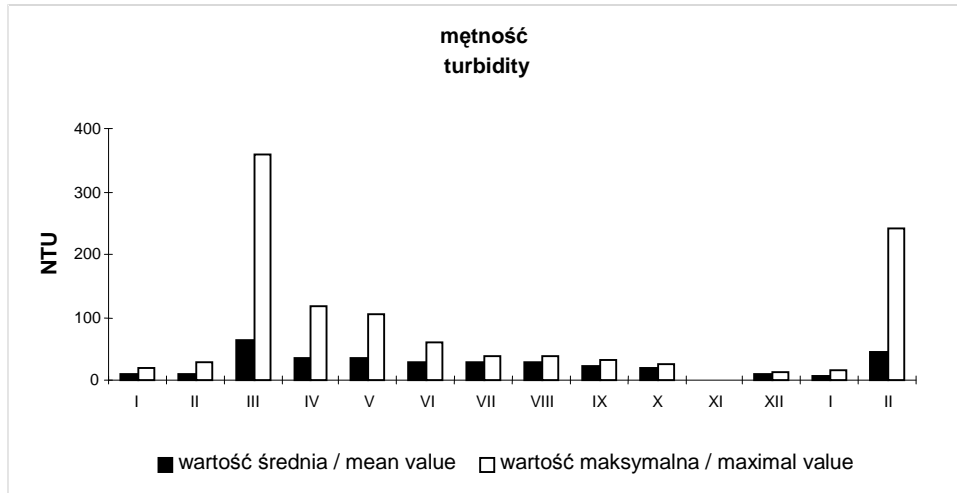
b – parametr izotermy Langmuira [m^3/g],

C_r – stężenie równowagowe [g/m^3].

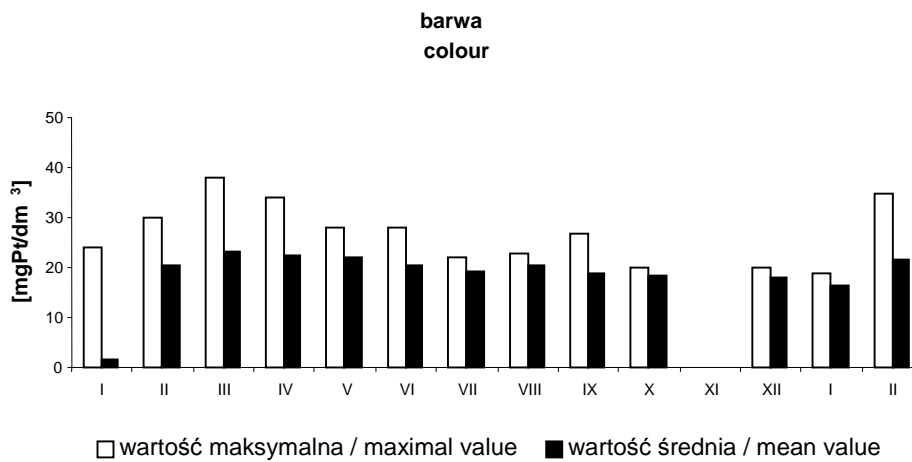
Jakość wody ujmowanej z nurtu Wisły

Przykładowe, charakterystyczne wartości wskaźników jakości wody ujmowanej z Wisły w okresie od stycznia 2003 roku do lutego 2004 roku przedstawiono na rysunkach 1–6. Wyniki tej analizy wskazują, że:

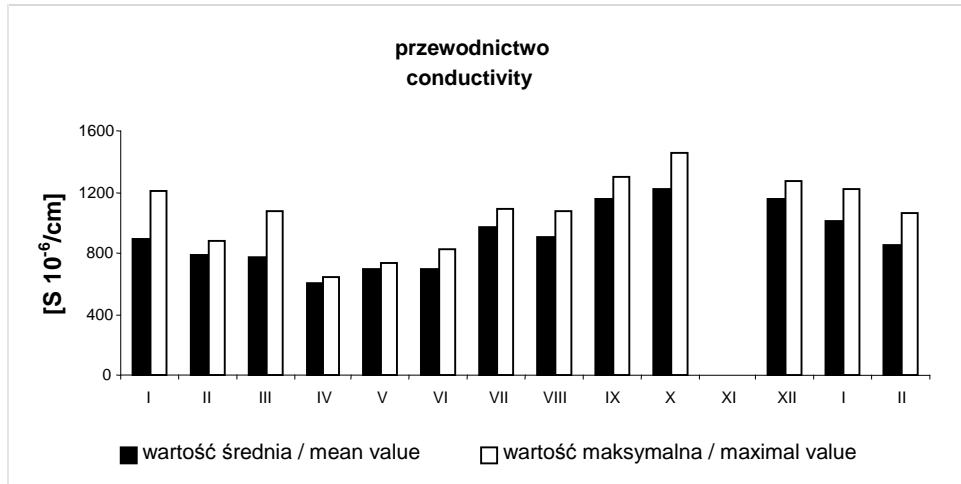
- zwiększone wartości barwy występowały od lutego do kwietnia z ekstremum w marcu 2003 roku oraz lutym 2004 roku,
- mętność wody była największa w marcu oraz zwiększona w kwietniu i maju 2003 roku i bardzo duża w lutym 2004 roku,
- największe wartości amoniaku miały miejsce od stycznia do marca z ekstremum w styczniu 2003 roku oraz duże w styczniu i lutym 2004 roku,
- maksymalną zawartość żelaza odnotowano w marcu, bardzo dużą w lutym 2004 roku, a dużą w kwietniu i maju,
- maksymalna zawartość manganu miała miejsce w marcu,



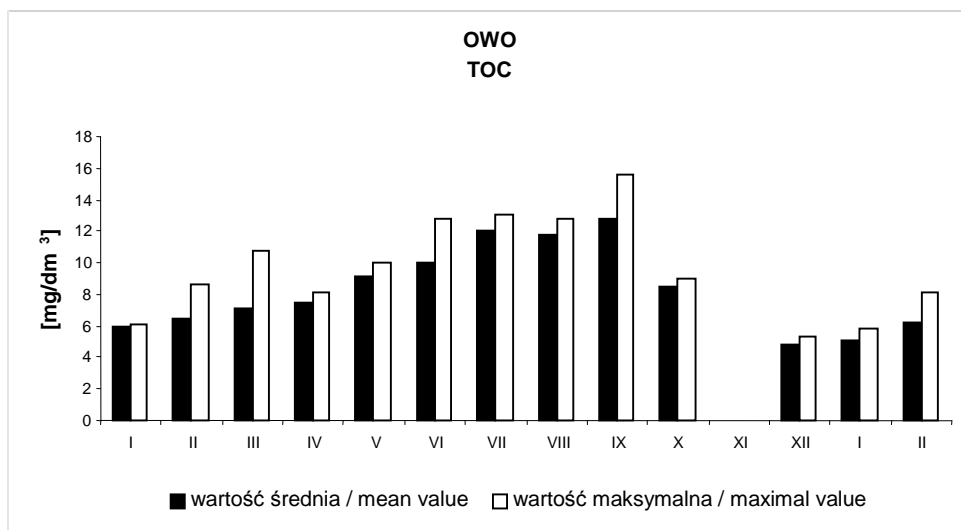
RYSUNEK 1. Wartości stężenia mętności wody z nurtu Wisły na wysokości ujęcia zasadniczego „Gruba Kaśka” w okresie 01.2003–02.2004
 FIGURE 1. Concentration of turbidity in midstream of Vistula River on “Gruba Kaśka” intake head



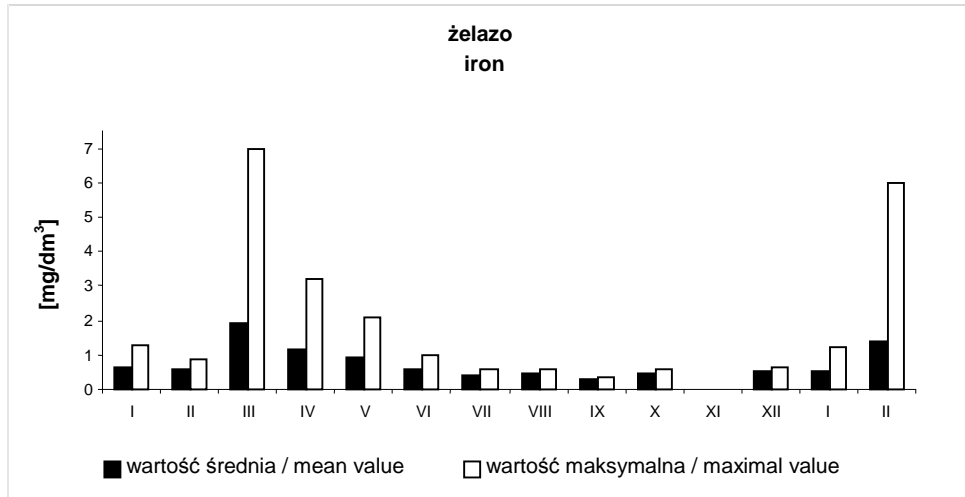
RYSUNEK 2. Wartości stężenia barwy wody z nurtu Wisły na wysokości ujęcia zasadniczego „Gruba Kaśka” w okresie 01.2003–02.2004
 FIGURE 2. Concentration of colour in midstream of Vistula River on “Gruba Kaśka” intake head



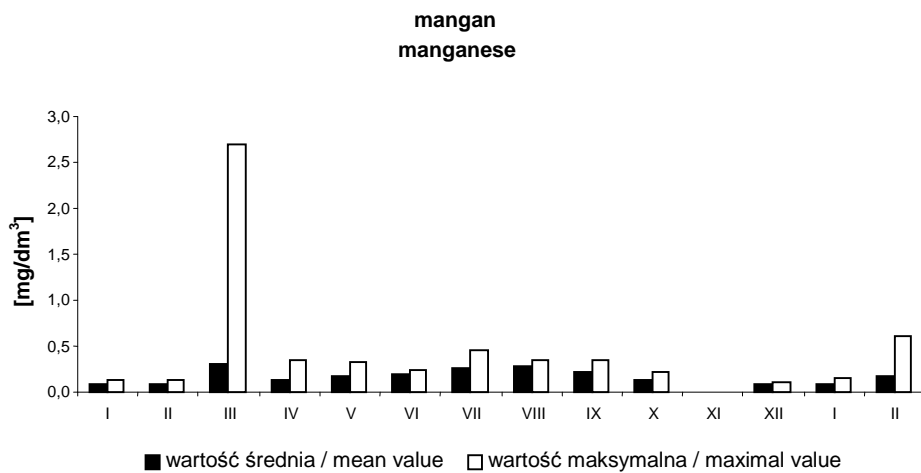
RYSUNEK 3. Wartości przewodnictwa wody z nurtu Wisły na wysokości ujęcia zasadniczego „Gruba Kaśka” w okresie 01.2003–02.2004
 FIGURE 3. Concentration of conductivity in midstream of Vistula River on “Gruba Kaśka” intake head



RYSUNEK 4. Wartości stężenia OWO wody z nurtu Wisły na wysokości ujęcia zasadniczego „Gruba Kaśka” w okresie 01.2003–02.2004
 FIGURE 4. Concentration of TOC in midstream of Vistula River on “Gruba Kaśka” intake head



RYSUNEK 5. Wartości stężenia żelaza wody z nurtu Wisły na wysokości ujęcia zasadniczego „Gruba Kaśka” w okresie 01.2003–02.2004
 FIGURE 5. Concentration of TOC in midstream of Vistula River on “Gruba Kaśka” intake head



RYSUNEK 6. Wartości stężenia manganu wody z nurtu Wisły na wysokości ujęcia zasadniczego „Gruba Kaśka” w okresie 01.2003–02.2004
 FIGURE 6. Concentration of TOC in midstream of Vistula River on “Gruba Kaśka” intake head

- wartości stężenia kadmu utrzymywały się na tym samym poziomie, natomiast maksymalne wartości stężenia miedzi i cynku odnotowano w marcu (nie przekraczały jednak odpowiednio 0,05 i 0,2 mg/dm³),
- ogólny węgiel organiczny (OWO) utrzymywał wysokie stężenia od czerwca do września z maksimum we wrześniu, co korelowało z utlenialnością,
- utlenialność maksymalną odnotowano w lutym 2004 roku i dość wysoką w 2003 roku, zwiększone jej wartości występowały od czerwca do września.

Na podstawie analizy wyników badań wody stwierdzono, że zmiany jakości wody wiślanej związane były z wezbraniem wiosennym (marzec), kiedy pojawiły się najwyższe stężenia zanieczyszczeń w odniesieniu do mętności, barwy, żelaza, manganu.

Biorąc pod uwagę średnie wartości analizowanych wskaźników z badanego okresu, należy stwierdzić, że Wisła prowadziła wody pozaklasowe ze względu na przewodnictwo, zawartość żelaza i manganu (Rozporządzenie... 1991)

W świetle przepisów zarówno polskich (Rozporządzenie... 2002), jak i Unii Europejskiej (Zięba 1999) woda pobierana z Wisły nie spełnia wymagań ustalonych dla wody stanowiącej źródło zaopatrzenia ludności ze względu na zawartość żelaza, manganu, przewodność oraz ogólny węgiel organiczny.

Wąsowski i Rypina (2002), porównując jakość wody z okresu lat 90. ze stanem obecnym, stwierdzili, że skład jakościowy wody w Wiśle nie podlega większym zmianom.

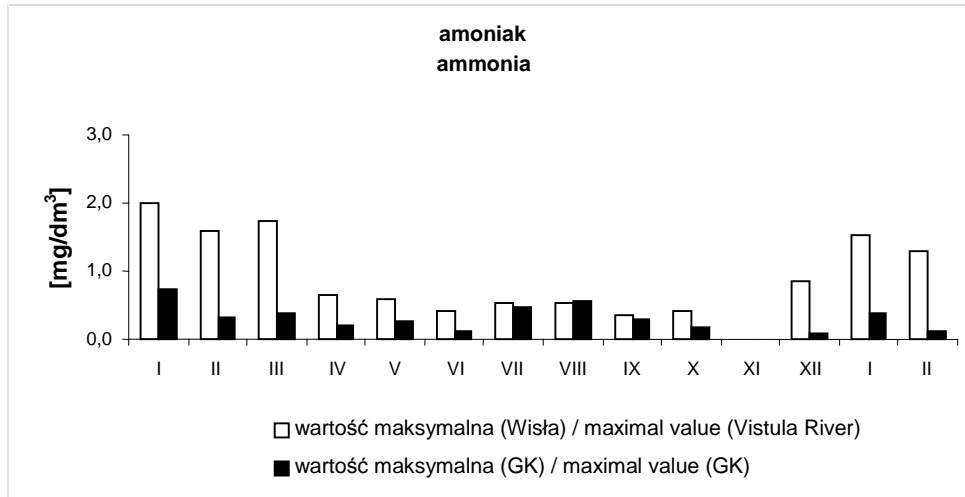
Jakość wody z ujęcia zasadniczego „Gruba Kaśka”

Charakterystyczne wartości wybranych wskaźników jakości wody wiślanej infiltrującej przez warstwę osadów piaszczystych pod dnem rzeki oraz z nurtu rzeki zestawiono na rysunkach 7–9.

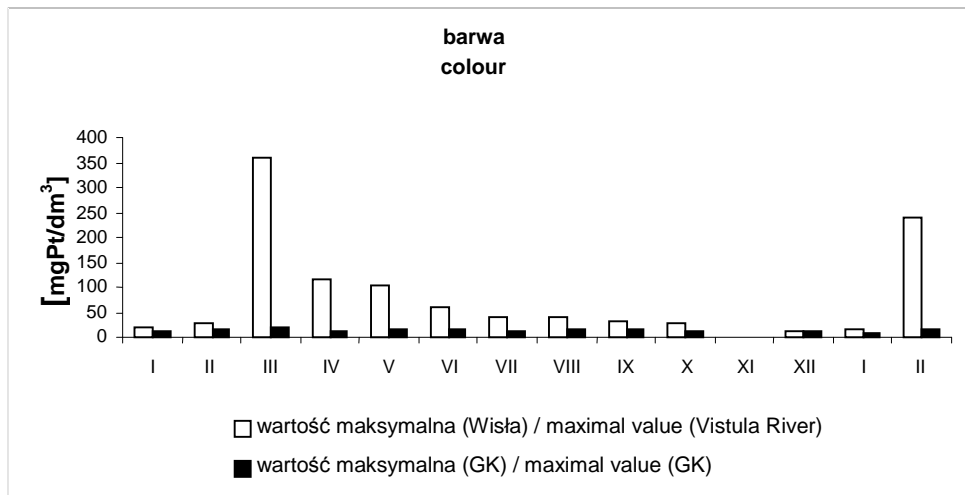
Efektywność redukcji zanieczyszczeń w czasie infiltracji kształtowała się na wysokim poziomie, np. eliminacja mętności 99%, żelaza 97% oraz utlenialności 67%.

Na podstawie analizy wyników badań wody z nurtu Wisły i ujęcia „Gruba Kaśka” stwierdzono, że infiltracja umożliwia redukcję wielu zanieczyszczeń (związków organicznych, żelaza, amoniaku) oraz tych, które decydują o fizycznych cechach wody (barwa, mętność). Ponadto pobór wody infiltrującej przez warstwę piasku ogranicza amplitudę wahań wartości wskaźników na tle sezonowo zmiennego składu w Wiśle (okres wiosennych roztopów).

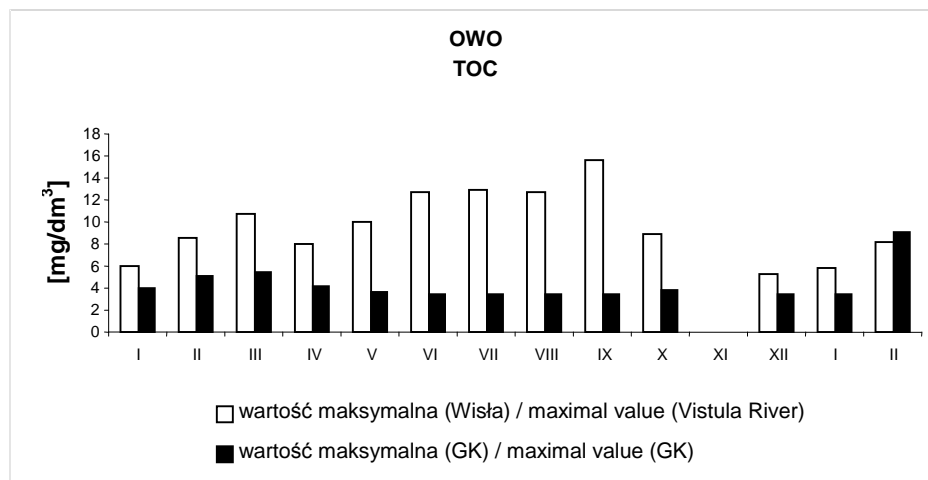
Jakość eksploatowanych wód zależy w dużej mierze od miąższości warstwy aluwialnej przykrywającej dreny, a także od granulacji utworów facji korytowej i stopnia ich zagęszczenia.



RYSUNEK 7. Wartości stężenia azotu amonowego wody z nurtu Wisły i ujęcia zasadniczego „Gruba Kaśka” w okresie 01.2003–02.2004
FIGURE 7. Concentration of ammonia in Vistula River midstream’s and “Gruba Kaśka” intake



RYSUNEK 8. Wartości stężenia barwy wody z nurtu Wisły i ujęcia zasadniczego „Gruba Kaśka” w okresie 01.2003–02.2004
FIGURE 8. Concentration of colour in Vistula River midstream’s and “Gruba Kaśka” intake



RYSUNEK 9. Wartości stężenia OWO wody z nurtu Wisły i ujęcia zasadniczego „Gruba Kaśka” w okresie 01.2003–02.2004

FIGURE 9. Concentration of TOC in Vistula River midstream's and “Gruba Kaśka” intake

Określenie za pomocą badań laboratoryjnych parametrów sorpcji kadmu, miedzi i cynku dla osadów dennych rzeki Wisły

Zawartość metali ciężkich w osadach dennych przedstawiono w tabeli 1.

W celu opisu sorpcji metali wyznaczono izotermy Langmuira (rys. 10–12). Najmniejszą pojemność uzyskano dla cynku, największą pojemnością charakteryzowała się izoterma Langmuira wyznaczona dla kadmu.

Wielkość sorpcji zależy od rodzaju metalu i maleje według następującego szeregu $Cd < Cu < Zn$. Z przeprowadzonych badań wynika, że ilość cynku adsorbowana przez piaszczyste osady denne jest niewielka i jest 10-krotnie mniejsza w porównaniu z kadmem i miedzią.

Wnioski

1. Biorąc pod uwagę średnie wartości analizowanych wskaźników z badanego okresu, należy stwierdzić, że Wisła prowadziła wody pozaklasowe i nie spełniała wymagań ustalonych dla wody stanowiącej źródło zaopatrzenia ludności ze względu na zawartość żelaza, manganu, przewodność oraz ogólny węgiel organiczny.
2. Zmiany jakości wody wiślanej związane były z wezbraniem wiosennym (marzec), kiedy pojawiły się najwyższe stężenia zanieczyszczeń w odniesieniu do mętności, barwy, żelaza, manganu.
3. Infiltracja wody przez warstwę piasku redukuje wiele zanieczyszczeń (związków organicznych, żelaza, manganu) i tych, które decydują o fizycznych cechach wody (barwa,

TABELA 1. Stężenia metali ciężkich (miedzi, kadmu i cynku) w osadach dennych
 TABLE 1. Concentration of heavy metals (copper, cadmium, zinc) in bottom deposits

Wskaźnik Indicator	Jednostka Unit	Punkty poboru próbki osadu Points of sample input		
		PU 1-5*	W 1-2**	K 1***
Miedź Copper	mgCu/dm ³	0,003-0,005	0,003-0,006	0,004
Kadm Cadmium	mgCd/dm ³	0,001-0,002	0,001-0,002	0,001
Cynk Zinc	mgZn/dm ³	0,2-0,4	0,2-0,4	0,2

*PU 1-5 – ujęcia poddenne infiltracyjne.

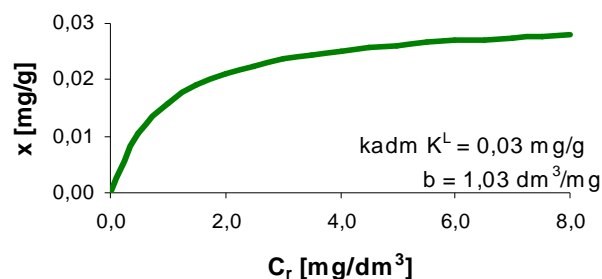
The under bottom infiltration intakes.

**W 1-2 – ujęcia poddenne infiltracyjne uzupełniające.

The supplementary under bottom infiltration intakes.

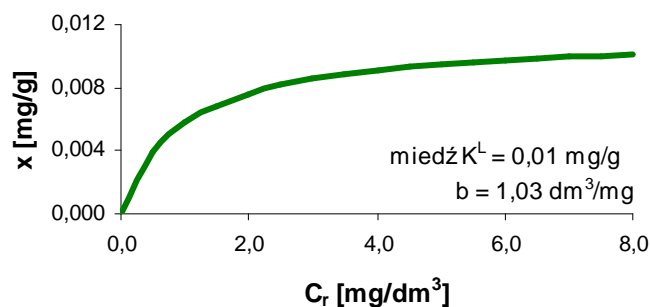
***K1 – ujęcie poddenne infiltracyjne „Gruba Kaśka”.

The under bottom infiltration intake “Gruba Kaśka”.



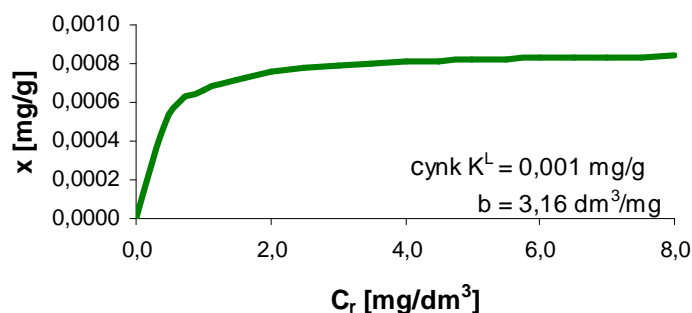
RYSUNEK 10. Izoterma Langmuira dla kadmu

FIGURE 10. Langmuir isotherm for cadmium



RYSUNEK 11. Izoterma Langmuira dla miedzi

FIGURE 11. Langmuir isotherm for copper



RYSUNEK 12. Izoterma Langmuira dla cynku
FIGURE 12. Langmuir izoterm for zinc

- mętność) oraz ogranicza amplitudę wahań wartości wskaźników na tle sezonowo zmiennego składu w Wiśle (okres wiosennych roztopów).
4. Zdolność wiązania wybranych metali ciężkich: kadmu, miedzi, cynku, przez osady denne Wisły zależy od rodzaju metalu i charakterystyki fazy stałej (utworów).
 5. Wielkość sorpcji maleje według następującego szeregu: Cd < Cu < Zn.

Literatura

- DOBROWOLSKI A. i inni 1995: Ocena wpływu poboru kruszywa na stabilność dna w rejonie Warszawy. Maszynopis. IMGW, Warszawa.
- FALKOWSKI E. 1990: Morphogenetic classification of river valleys in formerly glaciated areas for the needs of mathematical and physical modelling in hydrotechnical projects. *Geographia Polonica* 58: 57–68.
- KORNACKI Z. 1960: Przyczyny obniżania się dna Wisły w Warszawie. *Gospodarka Wodna* 11.
- MOSAKOWSKA A., PACHOLEC B., NOWAK B. 2003: Wpływ spływów powodziowych w Wiśle na jakość wody infiltracyjnej w Wodociągu Praskim. Materiały XVIII Konferencji „Postęp techniczny w wodociągach”, Wrocław.
- OSMĘDA-ERNST E. 1991: Wybrane metody badań migracji substancji zanieczyszczających (badania laboratoryjne) [w:] Ochrona wód podziemnych w Polsce. Stan i kierunki badań. CPBP 04.10. z. 56, SGGW-AR, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra OŚNiL z dnia 5 listopada 1991 r. w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub do ziemi.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 listopada 2002 r. w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.
- SKIBIŃSKI J. 1963: Włeczenie rumowiska dennego przez Wisłę w rejonie Warszawy. *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej* 53.
- WAŚOWSKI J., RYPINA A. 2002: Jakość i ilość wody ujmowanej przez wodociągi warszawskie do produkcji wody pitnej. V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Zaopatrzenie w wodę i jakość wód”. 26–28.06, Poznań-Gdańsk.
- ZIELIŃSKA M. 1960: Zmiana niwelety Wisły w Warszawie na tle zmian profilu podłużnego środkowej Wisły. *Gospodarka Wodna* 11.
- ZIĘBA L. 1999: Wpływ nowej dyrektywy Unii Europejskiej w sprawie jakości wody do picia na działalność przedsiębiorstw wodociągowych w Polsce. *Ochrona Środowiska* 4(75): 3–8.

Summary

Quality of water from the under bottom infiltration intake in Warsaw. The paper presents results of physicochemical analyses of water from the under bottom infiltration intake and from the river Wisła channel in Warsaw. Chosen heavy metals sorption capacity of channel deposits – filtration zone of water intake has been taken under consideration.

Author's address:

Tomasz Falkowski
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Geoinżynierii
02-776 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159
Poland