

Agnieszka Bartosik, Ireneusz Chomicki, Tomasz Jankowski

Zmiana jakości wody powierzchniowej podczas infiltracji na przykładzie ujęcia „Dębina” w Poznaniu

Zaopatrzenie Poznania w wodę oparte jest głównie na ujęciach wód infiltracyjnych. Ujęcie „Dębina” jest jednym z nich i drugim co do wielkości w układzie Poznańskiego Systemu Wodociągowego. Mechanizm funkcjonowania tego ujęcia polega przede wszystkim na zasilaniu wód podziemnych wodą powierzchniową czerpaną z Warty, która za pomocą pompowni i systemu rurociągów trafia do stawów infiltracyjnych. Woda ze stawów filtruje do warstwy wodonośnej (piaski i żwiry), przez które, po upływie kilkudziesięciu dób, dociera do studni. Ze studni woda jest zasysana pompami próżniowymi do trzech kolektorów lewarowych, a następnie do dwóch studni zbiorczych, z których tłoczona jest do stacji oczyszczania. Jakość wód warciańskich zasilających ujęcie „Dębina” zmienia się w czasie. Zmianie podlega także skuteczność ich oczyszczania w procesie sztucznej infiltracji. W pracy dokonano analizy zmian jakości wody podczas infiltracji od stycznia 1988 r. do marca 2007 r. w porównaniu do jakości wody w Warcie.

Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne

Czwartorzędowy zbiornik wód podziemnych w lewobrzeżnej dolinie Warty, w obrębie którego założono ujęcie „Dębina”, ma szerokość do 1100 m. Jego podłoże stanowią ility serii poznańskiej górnego miocenu. Zbiornik wypełniają osady czwartorzędowe, składające się z dwóch serii wiekowych, tj. młodszej – holocenijskiej i starszej – plejstocenijskiej. Miąższość osadów łącznie nie przekracza 20 m. Osady holocenijskie sięgają przeciętnie do głębokości 4+8 m p.p.t., miejscami do 10 m. Litologicznie są silnie zróżnicowane. Procentowo największą część stanowią drobnoziarniste i pylaste. W profilu spotyka się również przewarstwienia mułków, wkładki torfów i namułów. Utwory holocenijskie, tworzące podłoże stawów infiltracyjnych, należą do asocjacji facjalnej nizinnej rzeki meandrującej. Są to przeważnie osady odsypów meandrowych i równiny powodziowej. Osady plejstocenijskie, w których umieszczono filtry studzienne, zalegają w spągowej części dolinnego zbiornika wodonośnego i są bardziej jednorodne. Stanowią je w przewadze piaski średnio- i gruboziarniste, miejscami z domieszką żwirów lub nawet wyłącznie żwiry z otoczkami. Sporadycznie tylko występują osady o drobniejszej frakcji ziarna. Najkorzystniejsze warunki do infiltracji występują w jego południowej części w rejonie Lubonia, w miejscu gdzie koryto Warty włożone jest w piaszczyste osady rzeczne o znacznej miąższości. Mniej korzystne warunki

w tym względzie występują wzdłuż krawędzi staroleńskiej, gdzie koryto rzeki wcięte jest w ility trzeciorzędowe, a infiltracja wód rzecznych ograniczona jest tylko do lewego brzegu. Najgorsze właściwości filtracyjne prezentują utwory wzdłuż lewara III, co związane jest z występowaniem tam dużej ilości osadów organicznych. Współczynnik filtracji i przewodność hydrauliczna złoża wodonośnego są zróżnicowane. Maksymalny współczynnik filtracji wynosi 18,32 m/h, średni – 3,20 m/h, a minimalny – 0,34 m/h. Z tego rozkładu widać, że utwory wodonośne na ujęciu „Dębina” cechują się dobrą i bardzo dobrą przepuszczalnością, stanowiąc doskonałe złoża filtracyjne do pozyskiwania wód podziemnych z zasilania naturalnego (dopływ gruntowy, wymuszona infiltracja z koryta Warty) i sztucznego (infiltracja ze stawów). Na prędkość filtracji duży wpływ ma temperatura infiltrującej wody, która waha się w bardzo szerokim zakresie 0,5+24 °C. To zróżnicowanie jest wynikiem zarówno infiltracji brzegowej z koryta Warty, jak również infiltracji wody ze stawów w różnych porach roku.

O warunkach hydrogeologicznych poboru wody decydują zarówno parametry koryta rzeki, jak i stan wody w rzece. Stany maksymalne wezbrań powodziowych Warty w ostatnich latach kształtowały się następująco: kwiecień 1994 r. – 55,32 m n.p.m.; sierpień 1997 r. – 55,80 m n.p.m., a przebieg powodzi latem 1997 r. wykazał dużą rolę zbiornika retencyjnego Jeziorsko na Warcie poniżej Sieradza w złagodzeniu wysokości fali wody, przemieszczającej się doliną Warty w Poznaniu. W czasie maksymalnej powodzi, odnotowanej na ujęciu „Dębina” 17 marca 1979 r., przy rzędnej zwierciadła 57,38 m n.p.m., przepływ kulminacyjny Warty wyniósł 832 m³/s, podczas gdy przeciętnie przepływa korytem rzeki od 25 m³/s do 75 m³/s.

Charakterystyka ujęcia „Dębina”

Ujęcie „Dębina”, eksploatowane lewarowo, zlokalizowane na południowym krańcu Poznania w km 247+251 biegu Warty, zajmuje obszar ok. 260 ha na tarasie zalewowym. Zbudowane jest z trzech rzędów stawów infiltracyjnych równoległych do Warty, pomiędzy którymi usytuowano w równych odległościach trzy bariery złożone z 281 studni, podłączonych do trzech kolektorów lewarowych. Lewar I jest położony w odległości ok. 80 m od linii brzegowej rzeki, a odległości pomiędzy lewarami wynoszą ok. 160 m. Rozmieszczone pomiędzy lewarami stawy infiltracyjne, zbudowane w kształcie wydłużonych prostokątów z groblą wewnętrzną, mają szerokość ok. 60 m i długość 300+600 m. Studnie w barierach rozmieszczone są wzdłuż stawów w rozstawie co 20+25 m. Ich głębokość wynosi 10+20 m, a długość filtrów, w zależności od miąższości warstwy wodonośnej, waha się w zakresie od 2 m do 8 m.

Obszar ujęcia został silnie przeobrażony w ostatnim stuleciu w wyniku prowadzonych tam robót ziemnych związanych z budową stawów infiltracyjnych i studni wierconych, układaniem kolektorów lewarowych i rurociągów zasilających stawy, budową pompowni wody rzecznej oraz przejściem autostrady A2. W związku z przebiegiem trasy autostrady A2 przez teren ujęcia, z pierwotnej liczby 378 studni 97 z nich i niektóre stawy zostały zlikwidowane, natomiast wzdłuż biegu autostrady pobudowano stawy osłonowe o rozciągłości prostopadłej do stawów podstawowych. Ocenia się, że po przeprowadzeniu autostrady A2 przez teren ujęcia jego nominalna wydajność zmniejszyła się o 20% i obecnie wynosi 75 tys. m³/d. Bilans zasilania ujęcia jest się następujący:

- sztuczna infiltracja poprzez stawy infiltracyjne: 65+76%,
- infiltracja brzegowa: 16+27%,
- dopływ gruntowy 8+12%.

Warunki oczyszczania wody z Warty podczas sztucznej infiltracji

Woda pobierana z Warty i podawana na stawy infiltracyjne, zanim dotrze do studni ulega czterostopniowemu oczyszczaniu w wyniku:

- I: przetrzymania w stawie infiltracyjnym,
- II: filtracji poprzez naturalną błonę mineralno-biologiczną,
- III: infiltracji przez strefę aeracji,
- IV: przepływu przez warstwę wodonośną.

W I stopniu odbywa się uśrednienie wskaźników jakościowych i częściowe utlenienie azotu amonowego oraz niektórych substancji organicznych, a także usunięcie części fosforanów i azotanów. Niewielka głębokość stawów infiltracyjnych (1,80 m), z czym wiąże się dobre prześwietlenie wody, przyczynia się do silnego rozwoju glonów, czego skutkiem jest częściowa dekarbonizacja wody i zmniejszenie zawartości wapnia odkładającego się na dnie stawów w postaci węglanu wapnia. W II stopniu oczyszczanie przebiega na dnie stawu podczas mechanicznego odfiltrowania, uzupełnianego równocześnie wymianą jonową i adsorpcją oraz przez procesy biologiczne. Wytworzona na dnie stawu mineralno-biologiczna błona filtracyjna bierze udział w biodegradacji wielu związków organicznych, odkładających się w warstwie osadu, którego sucha masa składa się z substancji mineralnych (92,13+97,31%) i organicznych (2,69+7,87%). Błona filtracyjna i kilkucentymetrowa stropowa warstwa złoża zatrzymuje większość heterogenicznych zanieczyszczeń wnoszonych wraz z wodą rzeczną do stawu. W III i IV stopniu, po przefiltrowaniu przez dno stawu, woda przesiąka przez strefę nienasyconą (strefę aeracji) i przedostaje się do warstwy wodonośnej (strefy saturacji), w której w czasie 4+8 tygodni przepływa do studni ujmujących. Czas przepływu uzależniony jest od uziarnienia osadów, temperatury wody i spadku hydraulicznego. W strefie aeracji woda przemieszcza się w postaci cienkiej błonki po powierzchni ziaren lub poprzez kapilarne przestrzenie między ziarnami. Duża powierzchnia ziaren przyczynia się do wyeliminowania z wody części zanieczyszczeń i mikro-zanieczyszczeń. W wyniku procesów biochemicznych, wymiany jonowej lub sorpcji, zostają one zatrzymane w gruncie, a bakterie i grzyby glebowe, wykorzystując tlen zawarty w wodzie, mineralizują większość zaadsorbowanych zanieczyszczeń organicznych. Niektóre zanieczyszczenia mikrobiologiczne, po ich zatrzymaniu w błonie filtracyjnej, mogą

przechodzić z formy przetrwalnikowej w wegetatywną, a następnie ginąć w strefie nienasyconej w wyniku kontaktu z tlenem powietrza gruntowego. W miarę przepływu wody do coraz głębszych warstw, środowisko bakteryjne staje się coraz uboższe, wyczerpuje się bowiem substrat organiczny stanowiący źródło energii dla bakterii heterotroficznych oraz maleje zawartość tlenu, co stwarza barierę ograniczającą ich rozwój. W efekcie tych zjawisk powstałe produkty mineralizacji związków organicznych zawierających fosfor, siarkę, azot oraz obecne w wodzie związki żelaza i manganu zostają utlenione przez bakterie autotroficzne. Wytworzony dwutlenek węgla, jako jeden z produktów mineralizacji, reaguje z występującymi w gruncie węglanami bądź pozostaje w wodzie jako wolny lub agresywny.

W warunkach ujęcia „Dębina” odpowiednio długa droga (50+80 m), a tym samym i czas przepływu wody od stawów infiltracyjnych do studni (4+8 tyg.), gwarantują znaczne usunięcie zanieczyszczeń zawartych w wodzie warciańskiej. Obserwowane na przestrzeni wielolecia okresowe pogarszanie się jakości ujmowanej wody należy wiązać przede wszystkim z zanikiem strefy aeracji pod stawami w okresach wysokich stanów wód Warty, przy równoczesnym zmniejszonym poborze wody z ujęcia „Dębina”.

Stan i jakość wody w Warcie

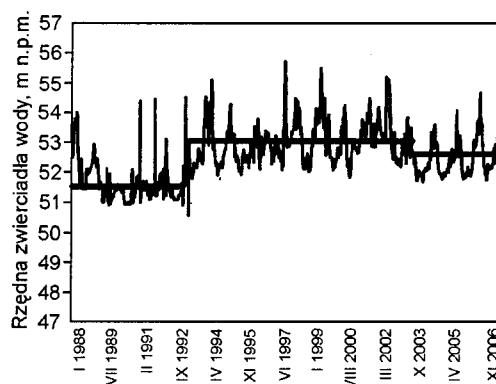
Na rysunku 1 zaprezentowano stany średnie roczne Warty w rejonie ujęcia „Dębina” w latach 1988–2007. Pomiarów dokonano na wodowskazie założonym w km 249,5 – przy centralnej pompowni wody rzecznej. Wyróżniono trzy okresy:

– lata suche 1988–1992, okres najgłębszej zanotowanej niżówki hydrologicznej w Wielkopolsce, wybitnie suchy, ze stanami Warty w przewadze układającymi się w przedziale rzędnych 51,0+52,0 m n.p.m., tj. poniżej wieloletniego stanu średniego niskiego (wg B. Przedwojskiego, 1994 – przy NQ=52,11 m n.p.m.),

– lata mokre 1993–2002, gdy woda w Warcie utrzymywała się na poziomie i powyżej stanów średnich, wieloletni stan charakterystyczny w tym okresie wynosi ok. 53,0 m n.p.m.,

– lata suche 2003–2007 (I kw.) z wieloletnim stanem charakterystycznym na poziomie ok. 52,5 m n.p.m.

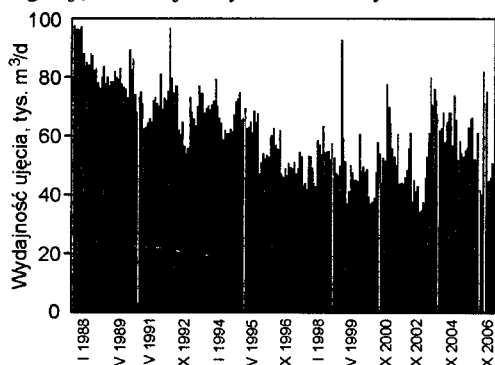
Obserwacje stanów niskich rzeki wykazały, że w tych okresach występuje ograniczanie więzi hydraulicznej pomiędzy wodami powierzchniowymi i podziemnymi oraz spadek zasilania ujęcia z koryta rzeki w wyniku kolmatacji osadów korytowych Warty, a także pogarszają się warunki zasilania



Rys. 1. Stan wody w Warcie na wysokości ujęcia „Dębina” w latach 1988–2007

ujęcia ze stawów infiltracyjnych. Procesy te w dużej części są odwracalne wraz z dłuższymi wezbrzeniami wody w Warcie. Jednak w pewnych sytuacjach proces ten jest nieodwracalny i prowadzi do powolnego starzenia się złoża wodonośnego.

W latach 1988–2007 średnia miesięczna wydajność ujęcia wody „Dębina” była bardzo zmienna i zamykała się w przedziale od niespełna 35 tys. m³/d do prawie 98 tys. m³/d, co zilustrowano na rysunku 2. W latach suchych (1988–1992) produkcja wody z ujęcia kształtowała się z tendencją spadkową średnio 70+90 tys. m³/d, w okresie lat mokrych (1993–2002) oraz w 2003 r. utrzymywała się tendencja spadkowa w dość szerokim przedziale 40+70 tys. m³/d, a od 2004 r. produkcja wzrosła do 50+70 tys. m³/d. Tendencja spadkowa w latach 1988–2003 związana była przede wszystkim z oszczędzaniem wody, wymuszonym przemianami w Polsce po 1989 r., a wzrost produkcji wody od 2004 r. spowodowany został modernizacją wodącego ujęcia i stacji oczyszczania wody w Mosinie.



Rys. 2. Wydajność ujęcia „Dębina” w latach 1988–2007 (śr. miesięczna)

Z analizy zmian jakości wody w Warcie wynika, że w ostatnich latach nastąpiła widoczna poprawa jakości wody rzecznej. Stężenia większości wskaźników kontrolnych w wodzie systematycznie spadały, nawet w ostatnich kilku latach, które należały do suchych, a więc niekorzystnych z punktu widzenia jakości wody rzecznej. Można więc przyjąć tezę, że przyczyn tej poprawy nie należy doszukiwać się we wpływie naturalnych zmian klimatycznych czy w zmianach sezonowych, lecz można upatrywać w inwestycjach na rzecz ochrony środowiska. W Polsce w ostatnim czasie nastąpiło wyraźne ograniczenie zanieczyszczeń punktowych (budowa komunalnych i przemysłowych oczyszczalni ścieków, ograniczanie i restrykcje środowiskowe w produkcji przemysłowej) oraz zmniejszenie zanieczyszczeń obszarowych (zmiany w użytkowaniu rolniczym gruntów i w hodowli zwierząt). W zakresie wzrostów największą różnicę odnotowano w zawartości glinu, który należy traktować jako zanieczyszczenie antropogeniczne.

Skuteczność oczyszczania wody podczas infiltracji

Z analizy zmian jakości wody infiltracyjnej wynika, że w ostatnich latach także nastąpiła widoczna poprawa jakości wody infiltracyjnej, oraz że poprawa ta w dużej części jest proporcjonalna do poprawy jakości wody rzecznej. Podczas infiltracji wody na terenie ujęcia „Dębina” następuje usuwanie zanieczyszczeń w procesach fizycznych, chemicznych i biologicznych zachodzących w stawach infiltracyjnych oraz w warstwie gruntu. Z zestawienia zmian jakości wody na rysunkach 3–7 można wnioskować, że skuteczność oczyszczania wody podczas infiltracji jest:

– bardzo duża w zakresie usuwania zanieczyszczeń mikrobiologicznych,

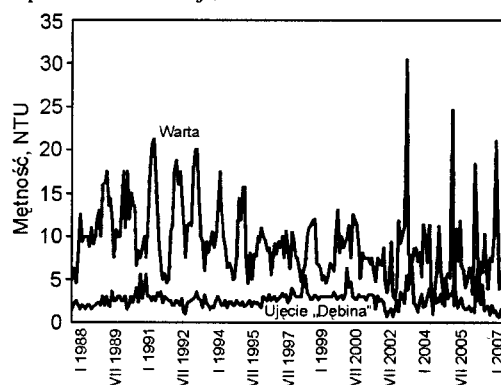
– duża w zakresie usuwania zanieczyszczeń organicznych, co jest istotne w warunkach ograniczenia zawartości OWO od marca 2007 r., a także w zakresie trudno usuwalnych w standardowych procesach oczyszczania zanieczyszczeń azotowych występujących w wodzie rzecznej w każdej postaci,

– zadowalająca w zakresie usuwania zawiesin ogólnych, mętności i detergentów.

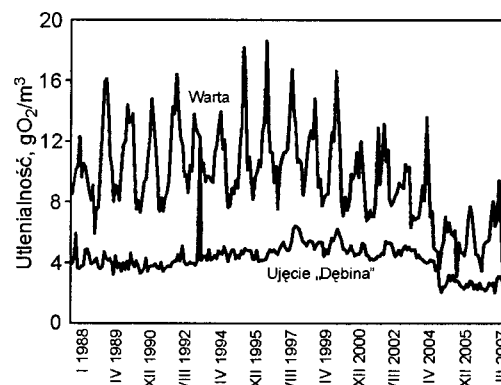
Obserwacja procesu infiltracji na terenie ujęcia „Dębina” prowadzi także do następujących spostrzeżeń:

– temperatura wody infiltracyjnej wykazuje mniejsze wahania niż wody rzecznej, co potwierdza stabilizującą rolę gruntu podczas infiltracji,

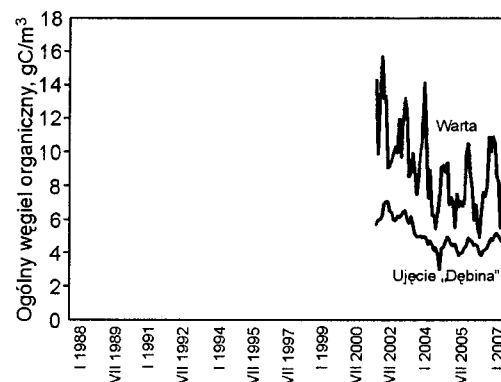
– amplituda zmian zawartości składników w wodzie infiltracyjnej jest mniejsza od amplitudy zmian ich odpowiedników w wodzie rzecznej, co potwierdza buforującą rolę gruntu podczas infiltracji,



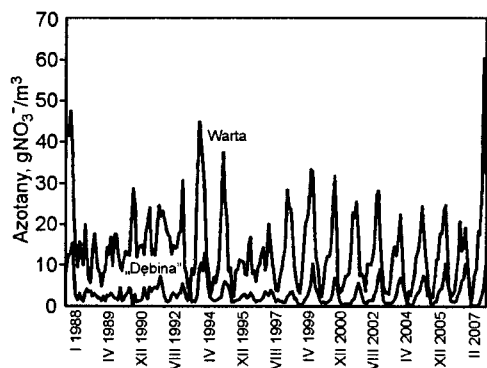
Rys. 3. Mętność wody w latach 1988–2007 (śr. miesięczna)



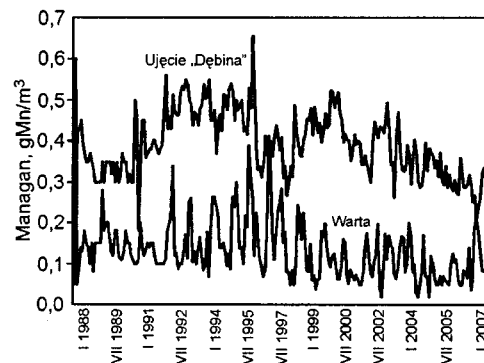
Rys. 4. Utlenialność wody w latach 1988–2007 (śr. miesięczna)



Rys. 5. Zawartość OWO w wodzie w latach 2001–2007 (śr. miesięczna)



Rys. 6. Zawartość azotanów w wodzie w latach 1988–2007 (śr. miesięczna)



Rys. 7. Zawartość manganu w wodzie w latach 1988–2007 (śr. miesięczna)

– zawartość tlenu w wodzie infiltracyjnej jest mniejsza niż w wodzie rzecznej, a zawartość dwutlenku węgla w wodzie infiltracyjnej jest większa niż w wodzie rzecznej, co potwierdza, że w czasie infiltracji wody w gruncie zachodzą intensywne procesy utleniania biochemicznego,

– zawartość manganu w wodzie infiltracyjnej jest większa niż w wodzie rzecznej, a zawartość żelaza w obu wodach jest podobna, co świadczy o tym, że w ujmowanej wodzie infiltracyjnej ma udział także woda podziemna o większej zawartości manganu i stosunkowo małej zawartości żelaza.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że skuteczność usuwania zanieczyszczeń z wody w trakcie jej infiltracji jest głównie zależna od jakości wody rzecznej. Okazuje się jednak, że skuteczność oczyszczania wody w procesie infiltracji jest w części zależna od warunków pracy samego ujęcia, np. zmniejsza się w okresach wezbrań Warty, przy równocześnie mniejszej produkcji ujęcia (w takich przypadkach okresowo jest zatapiana strefa aeracji pod stawami), a wzrasta w miarę wydłużania czasu samej infiltracji wody w gruncie, tj. przy niskich stanach wody w Warcie i małej wydajności ujęcia „Dębina”.

Wnioski

♦ Jakość wody infiltracyjnej na ujęciu „Dębina” kształtuje się głównie pod wpływem Warty. Stosowany system infiltracji poprawia jakość wód powierzchniowych, nadając im cechy wód podziemnych. Jedynie zawartość najlepiej migrujących składników wody (chlorki i siarczany) są praktycznie takie same, jak w wodzie rzecznej.

♦ W procesie infiltracji następuje znaczące zmniejszenie zawartości związków azotu, a także substancji organicznych (oznaczonych jako utlenialność i barwa) i zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Jednocześnie ujmowana woda infiltracyjna wykazuje większą twardość oraz zawartość manganu.

♦ W ostatnich latach obserwuje się stopniową, ale zdecydowaną poprawę jakości wody w Warcie, co przekłada się na lepszą jakość wody infiltracyjnej. Poprawa jakości ujmowanej wody ma znaczenie również finansowe, gdyż pozwala na planowanie tempa i zakresu modernizacji stacji oczyszczania wody Wiśniowa w Poznaniu, odbiorcy wody infiltracyjnej z ujęcia „Dębina”.

LITERATURA

1. M. BŁĄŻEJEWSKI: Sztuczna infiltracja w uzdatnianiu wód powierzchniowych. Instytut Kształtowania Środowiska, Warszawa 1982 (praca niepublikowana).
2. J. GÓRSKI, J. PRZYBYŁEK: Dokumentacja hydrogeologiczna infiltracyjnego ujęcia wody dla m. Poznania w Dębiniu. Synteza badawcza, Aqua sp. z o.o., Poznań 1995 (praca niepublikowana).
3. J. GÓRSKI, J. PRZYBYŁEK: Ujęcie wody Poznań–Dębina. Kompleksowa dokumentacja hydrogeologiczna. Podstawa do opracowania koncepcji programowo-przestrzennej w zakresie przebudowy stawów infiltracyjnych. Uniwersytet im. A. Mickiewicza, Poznań 2006 (praca niepublikowana).
4. Wyniki analiz wody z lat 1988–2007. Laboratorium Badań Wody, Aquanet SA, Poznań 2007 (praca niepublikowana).

Bartosik, A., Chomicki, I., Jankowski, T. Variations in Surface Water Quality During Infiltration: A Case Study. *Ochrona Środowiska* 2007, Vol. 29, No. 3, pp. 51–54.

Abstract: The case in point is the Debina Infiltration Water Intake in Poznan. The water supply system for the city of Poznan involves predominantly infiltration water intakes, of which Debina ranks second in size, covering a surface area of approx. 260 ha. Situated on the left bank of the River Warta, Debina consists of 281 drainage wells and has a rated yield of 75,000 m³/d (artificial recharge from infiltration ponds, 65 to 76%; bank infiltration, 16 to 27%, and groundwater inflow, 8 to 12%). Performance analysis of the water intake has produced the following findings: the quality of the taken-in water depends primarily on the quality of the Warta River water; the infiltration system applied upgrades the quality of the riverine water by imparting features to it that are specific to those of the groundwater; the variations in riverine water quality are

reflected in the variations in the quality of the taken-in water but those observed in the latter are less distinct and pollutant concentrations are lower. Water quality analysis has revealed that the infiltration process is particularly efficient in removing microbiological pollutants and organic substances from riverine water. The highest treatment effects due to infiltration were obtained when both the water level in the Warta River and the yield of the Debina intake were low. In the past few years the quality of the riverine water has improved gradually but noticeably, regardless of whether there was a period of hydrological drought or a wet year. The improvement in the quality of the Warta River water accounts for the improvement in the infiltration water quality, and this enables rational planning of the range and time of modernization for the Wisniowa Water Treatment Plant in Poznan, which is fed by the Debina Infiltration Water Intake.

Keywords: Surface water, artificial infiltration, water quality.