

Bogdan Koczko, Beata Pacholec, Anna Mossakowska

Doświadczenia eksploatacyjne ujęcia infiltracyjnego Wodociągu Praskiego w Warszawie

Zakład Wodociągu Praskiego obchodził we wrześniu 1994 roku jubileusz trzydziestolecia swej działalności. Ujęcia infiltracyjne wybudowane dla potrzeb Wodociągu Praskiego są pod wieloma względami rozwiązaniami unikatowymi. Trzydziestoletnia eksploatacja tych ujęć pozwoliła na wypracowanie szeregu nowatorskich rozwiązań optymalizujących proces infiltracji oraz procesy uzdatniania wody, tj. napowietrzanie, filtrację pospieszną i dezynfekcję.

W niniejszej pracy opisano najistotniejsze doświadczenia z dotychczasowej pracy podziemnych ujęć infiltracyjnych.

Założenia Wodociągu Praskiego

W roku 1950 inżynier Włodzimierz Skoraszewski opracował koncepcję ujęcia wody spod dna Wisły przy pomocy poziomych drenów, wg następujących założeń:

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

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

- ułożenie 20 poziomych drenów o średnicy 300 mm, od strony rzeki, usytuowanych na dwóch poziomach i na takiej głębokości pod dnem rzeki, aby zachowana była odpowiednia miąższość warstwy filtracyjnej; przewidywana długość poszczególnych drenów wynosiła od 100 do 150 m, łącznie około 3 km; dopuszczalna depresja w studni miała wynosić do 14 m poniżej zwierciadła wody w rzece,

- zanieczyszczenia warstwy filtracyjnej nad drenami miały być usuwane przez fale powodziowe oraz ruch rumowiska dennego, a dla drenów zakładano przedmuchiwanie sprężonym powietrzem oraz okresowe płukanie wodą w przeciwną stronę,

- w ujmowanej wodzie, w ilości do 200 tys. m³/d, udział wód gruntowych miał wynosić kilka procent,

- w koncepcji tej nie zakładano budowy stacji uzdatniania wody.

Budowę studni próbno-eksploatacyjnej, zgodnie z projektem Politechniki Warszawskiej, rozpoczęto w roku 1953. Projekt ten przewidywał wykonanie studni zbiorczej, usytuowanej w odległości 50 m od prawego brzegu średniej wody, o średnicy wewnętrznej 11,0 m i zagłębionej na 30 m pod dnem rzeki. Budowa była okresowo zatrzymywana w okresach zimy i spływów powodziowych oraz podczas rozerwania płaszcza studni w czasie jego opuszczania, a także z powodu zastrzeżeń architektonicznych.

Ostatecznie studnia została wykonana w grudniu 1957 r. i następnie przystąpiono do prac wiertniczych i układania drenów. Przewidywana w projekcie technologia bezkesonowa nie sprawdziła się. Autorem nowego sposobu wykonania drenów, w kesonie, był mgr inż. Jerzy Wojtkowski. Dreny wtłaczane były od środka studni przy zastosowaniu nadciśnienia (keson). W pierwszej kolejności wtłaczano grubościenną stalową rurę osłonową, z której wypłukiwano piasek do wnętrza studni, a następnie wkładano dren od strony studni i wycyfowano rurę osłonową. W 1959 r. wykonano próbne pompowanie z pierwszego drenu, z jednostkową wydajnością początkową 0,78 dm³/m·s oraz końcową – 3,9 dm³/m·s.

Zakończony został okres budowy ujęcia i na podstawie wyników próbnego pompowania, przy założeniu jednostkowej wydajności drenu około 1,7 dm³/m·s, zdecydowano o budowie wodociągu o wydajności 225 tys. m³/d. Zrezygnowano z układania drenów w dwóch poziomach oraz założono liczbę drenów równą 15, o długości czynnej każdego z nich około 100 m. Dreny wykonano z blachy nierdzewnej oraz ocynkowanej. Studnia zbiorcza została połączona ze stacją uzdatniania galerią o długości 312 m pod dnem Wisły. Całkowita długość drenów wynosiła 1.388 m, w tym część pracująca – 1.186 m. Poziom osi wszystkich drenów na wyjściu ze studni znajdował się 7,5 m poniżej dna Wisły. Rzędne osi drenów, w punktach najbardziej oddalonych od studni, znajdowały się od 3,5 do 10,6 m poniżej dna rzeki.

Próbne pompowanie drenów prowadzono przy wysokich depresjach, co w połączeniu z wadami materiału oraz słabszą wytrzymałością perforacji, spowodowało zniszczenie większej części drenażu. Po wykonaniu napraw eksploatację rozpoczęto przy niższych depresjach. Założona wysoka jednostkowa wydajność drenu, około 1,7 dm³/m·s, nie została utrzymana. W początkowym okresie eksploatacji studni zasadniczej osiągnęto wydajność od 110 tys. m³/d do 140 tys. m³/d, przy depresji wynoszącej od 5 do 6 m.

Technologia uzdatniania wody infiltracyjnej została opracowana przez zespół pod kierunkiem profesora Witolda Hermanowicza. Składały się na nią następujące procesy: napowietrzanie, filtracja oraz dezynfekcja. Projekt techniczny stacji uzdatniania wody został opracowany przez BPBK „Stolica”.

Wodę z ujęcia zaczęto tłoczyć bezpośrednio do sieci miejskiej 22 września 1964 r., natomiast w sierpniu 1965 r. do sieci podawano już wodę uzdatnioną w pełnym ciągu technologicznym. Coraz większe zapotrzebowanie Warszawy na wodę zdecydowało o budowie dwóch mniejszych studni przybrzeżnych, tzw. ujęć uzupełniających nr 1 i 2. Zlokalizowane one zostały na prawym brzegu Wisły, powyżej studni zasadniczej. Studnia nr 1 została oddana do eksploatacji w 1969 r., a studnia nr 2 w 1970 r. Obie studnie mają średnicę wewnętrzną 6 m, różnią się natomiast

głębokością ułożenia drenów. Zakładana wydajność każdej z nich wynosiła około 50 tys. m³/d.

Stan obecny

Drenaż studni zasadniczej, tzw. „Grubej Kaśki”, tworzy 15 promieniście ułożonych drenów o średnicy 300 i 400 mm. Długości poszczególnych drenów wynoszą od 95 do 165 m, a łączna ich długość wynosi 1.742 m. Złoże filtracyjne nad drenami ma miąższość od 4 do 7 m, zależnie od stanu Wisły i ruchu rumowiska. Przeciętna wydajność studni zasadniczej wynosi od 90 do 120 tys. m³/d, co odpowiada jednostkowej wydajności drenów od 0,6 do 0,7 dm³/m-s przy depresji od 2 do 4 m.

Na drenaż ujęcia uzupełniającego nr 1 składa się 6 drenów o średnicy 300 i 400 mm, ułożonych na głębokości 6,5 m, o długości od 140 do 292 m. Przeciętna wydajność ujęcia wynosi około 60 tys. m³/d.

W ujęciu uzupełniającym nr 2 w latach 1993 i 1994 ułożono 6 drenów metodą promienisto-równoległą, z całkowitą wymianą złoża, o średnicy od 300 do 450 mm, na głębokości 7,5 m. Długości poszczególnych drenów wynoszą od 250 do 400 m, a ich łączna długość wynosi 1.727 m. Ujęcie to jest eksploatowane z przeciętną wydajnością około 90 tys. m³/d, ale możliwe jest jej zwiększenie do 120 tys. m³/d.

Woda wiślana na wysokości ujęcia Wodociągu Praskiego, w zakresie składu chemicznego i biologicznego, odpowiada II i III klasie czystości. W procesie infiltracji następuje obniżenie zawartości planktonu w wodzie prawie w 100%, bakterii w około 95%, związków organicznych średnio o 50%, związków żelaza o 80+95% i manganu o 40+60% (przy niskich stanach w Wiśle zwiększa się udział wód głębinowych w wodzie infiltracyjnej występują wyższe stężenia manganu w wodzie infiltracyjnej, np. w 1994 r. 1,65 gMn/m³) oraz azotu amonowego o 20+85%. Napowietrzanie wody i filtracja pospieszna z prędkością do 6 m/h przyczyniają się do prawie całkowitego usunięcia z wody związków żelaza i manganu oraz znacznego zmniejszenia poziomu innych zanieczyszczeń.

Eksploatacja drenów

Wiadomo, że budowa ujęć infiltracyjnych wymaga zachowania wielu warunków. Koncepcja inż. W. Skoraszewskiego pod tym względem okazała się trafna, lecz trzeba było następnie wypracować technikę eksploatacji tego typu ujęć. Próbnym pompowaniem pierwszych drenów prowadzono przy znacznych depresjach, co przy wadach materiałowych i słabych perforacjach drenów spowodowało zniszczenie większości drenażu. Po wykonaniu napraw wznowiono eksploatację przy niższych depresjach, jednakże nie udało się utrzymać zakładanej jednostkowej wydajności drenów 1,7 dm³/m-s, a po trzech latach wydajność zmniejszyła się do 40% wydajności początkowej. Obserwowano powstawanie nad drenami wisp z przytrzymywanego przez dreny piasku. Dla przeciwdziałania temu zjawisku opracowano metodę płukania złoża filtracyjnego nad drenami, przy użyciu specjalnie przystosowanej jednostki pływającej. W ten sposób uzyskano rozluźnienie złoża filtracyjnego, uaktywniono ruch rumowiska i przywrócono jednostkową wydajność drenów do około 1,2 dm³/m-s. Analizując pracę drenów stwierdzono potrzebę zmniejszenia ich jednostkowej wydajności, dla zachowania stabilności pracy ujęcia.

Obecnie przyjmuje się maksymalną jednostkową wydajność drenu w granicach 0,8+0,9 dm³/m-s, dla drenu nowego o średnicy 300 mm, przy depresji 1,5+3,0 m. W miarę kolmatacji drenów zmniejsza się ich wydajność do 0,3+0,5 dm³/m-s, co następuje po około 10-15 latach eksploatacji. Przyspieszona kolmatacja występowała także przy zwiększonym zasoleniu wody, tj. przy stężeniu chlorków powyżej 200 gCl/m³. Zaobserwowano również samoczynne obniżanie się wydajności ujęcia przy wzroście depresji powyżej 4 m, co jest też sygnałem o przekroczeniu dopuszczalnego obciążenia drenu w danych warunkach. Nadmierne zwiększanie depresji powoduje także zapowietrzanie złoża i samoczynne zmniejszenie wydajności.

Obecnie prowadzone są próby uszlachetniania złoża przed ułożeniem drenów metodą odkrywkową oraz po ich ułożeniu i zasypaniu, a przed rozpoczęciem ich wpracowywania. Otrzymane wyniki są bardzo obiecujące. Dren wówczas szybciej się wpracowuje, a jego praca jest bardziej stabilna. Przykładem tego może być wpracowywanie drenu nr 6 studni zasadniczej, po jego wymianie przez pracowników Wodociągu Praskiego jesienią 1994 r. Po 24-godzinnym wpracowywaniu stwierdzono bardzo dobrą jakość wody, kwalifikującą dren do eksploatacji.

Na szczególne podkreślenie zasługuje potrzeba stałego czyszczenia złoża filtracyjnego poprzez jego płukanie. Stosuje się różne rodzaje płukań w zależności od wyników obserwacji pracy drenów. Codziennie określana jest depresja dla każdego drenu, a raz w tygodniu mierzona jest jego wydajność. Pomiaru te są możliwe do wykonania dla każdego drenu studni zasadniczej, natomiast dla ujęć uzupełniających jest to wartość średnia dla pracujących drenów. Przeciętnie raz w miesiącu wykonywane są analizy fizyczno-chemiczne wody z poszczególnych drenów studni zasadniczej, co umożliwia konstrukcja „Grubej Kaśki”. W ujęciach uzupełniających poziom wody w studni utrzymuje się powyżej drenów. Nie ma możliwości prowadzenia obserwacji dla każdego drenu. Stała kontrola hydrauliczno-jakościowa parametrów pracy drenów pozwala na ich bieżącą korektę oraz określa potrzebę czyszczenia złoża filtracyjnego. Można również zlokalizować ewentualne awarie drenów.

Uzdatnianie wody infiltracyjnej

W swojej koncepcji z 1950 r. inż. W. Skoraszewski nie przewidywał budowy stacji uzdatniania wody infiltracyjnej, chociaż takiej możliwości nie wykluczał. Już pierwsze analizy wody z drenu pobrane przy próbnym pompowaniu potwierdziły zasadność rozbudowy układu technologicznego o procesy odżelaziania i odmanganiania. Badania technologiczne prowadzone przez profesora W. Hermanowicza były punktem wyjściowym do opracowania przez BPBK „Stolica” projektu technicznego Wodociągu Praskiego, który zakładał następujący schemat technologiczny:

- infiltracja wody wiślanej,
- napowietrzanie w aeratorach typu haskiego,
- filtracja pospieszna z prędkością 12 m/h; piasek filtracyjny frakcji od 0,8 do 1,2 mm, wysokość złoża 1,5 m, przy czym od 10 do 20% złoża winno być uaktywnione; płukanie filtrów wodą,
- dezynfekcja.

W okresie rozruchu i pierwszych latach eksploatacji układu woda kierowana do sieci charakteryzowała się bardzo dobrą jakością. Filtracja prowadzona z prędkością około 8 m/h miała charakter stabilizujący. W latach 1969 i 1970 włączono do eksploatacji ujęcia uzupełniające, zlokalizowane na prawym brzegu Wisły, powyżej studni zasadniczej. W pierwszej połowie lat 70.

dały o sobie znać kłopoty eksploatacyjne wynikające z potrzeby maksymalnego zwiększenia wydajności wodociągu. Równocześnie obserwowano stałą degradację jakości wody wiślanej, która charakteryzowała się wysoką barwą, mętnością, zakwitami planktonu, wysokimi stężeniami azotu amonowego (maks. 4 gN/m^3), żelaza (maks. 12 gFe/m^3) i manganu (maks. 1 gMn/m^3), znaczną utlenialnością (maks. $20 \text{ gO}_2/\text{m}^3$) oraz okresowymi zrzutami ścieków fenolowych.

Infiltracja okazała się efektywnym procesem, lecz wystąpiły różnice w jakości wody z poszczególnych ujęć. Zdecydowanie lepszą jakość wody ujmowano w studni zasadniczej, którą okresowo kierowano do sieci tylko po dezynfekcji. Ujęcia uzupełniające, o głębszym posadowieniu drenów, dostarczały wodę o charakterze bardziej głębinowym, tj. o wyższych stężeniach związków żelaza i manganu oraz gnilnym zapachu, przy jednoczesnym oddziaływaniu cech wody wiślanej. Stosowana technologia uzdatniania okresowo nie zapewniała jakości wody spełniającej obowiązujące wymagania. Najczęściej przekroczenia dotyczyły obecności azotu amonowego, manganu, okresowo fenoli, a w porze letniej występował deficyt tlenu.

Do eksploatacji ujęć infiltracyjnych wprowadzono nowe rozwiązania, m.in. ułożenie drenów ujęć uzupełniających na mniejszej głębokości, bardziej skierowanych w nurt rzeki oraz systematycznie czyszczono złoża filtracyjne. Równocześnie zmniejszono prędkość filtracji na filtrach pospiesznych do 6 m/h . W ostatnim okresie zmieniono koronę aeratorów według wniosku racjonalizatorskiego, co przyczyniło się do zwiększenia nasycenia wody infiltracyjnej tlenem o około 40%.

Obecnie priorytetowym problemem dla przedsiębiorstw wodociągowych oraz konsumentów jest jakość wody. Postęp w technice analitycznej umożliwił w ostatnich latach identyfikację substancji występujących w wodzie w ilościach śladowych. Ponieważ większość z nich jest nieobojętna dla zdrowia, a niektóre mają działanie kancerogenne, więc niezbędne są zmiany w stosowanych technologiach uzdatniania wody. Zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia określają dla wody do picia maksymalne stężenia m.in. pestycydów, trihalometanów, węglowodorów aromatycznych. Propozycja polskich unormowań prawnych w tym zakresie zawiera kilkadziesiąt pozycji dotyczących mikrozanieczyszczeń. Prowadzona w wodociągach warszawskich kontrola

jakości wody w zakresie występowania mikrozanieczyszczeń wskazuje na ich obecność w śladowych ilościach. W procesach infiltracji oraz filtracji pospiesznej zmiany stężeń mikrozanieczyszczeń nie są znaczące. W procesie dezynfekcji chlorem podwyższeniu ulegają stężenia THM-ów.

Trzydziestoletnie doświadczenia Wodociągu Praskiego w Warszawie pozwoliły na wypracowanie optymalnych parametrów procesu infiltracji. Zoptymalizowano też procesy napowietrzania oraz filtracji pospiesznej, a w ciągu roku nastąpi wprowadzenie dwutlenku chloru do dezynfekcji. Istniejący układ technologiczny uzdatniania wody jest bardzo skuteczny w usuwaniu zanieczyszczeń z wody wiślanej. Woda uzdatniona charakteryzuje się niską barwą i mętnością, jest pozbawiona planktonu w około 99% oraz bakterii w około 95%, zawiera śladowe stężenia związków żelaza i manganu (nawet przy $1,65 \text{ gMn/m}^3$ w wodzie infiltracyjnej) oraz azot amonowy w stężeniach $<0,5 \text{ gN/m}^3$. Obecny układ uzdatniania stanowi bazę dla przyszłościowej technologii rozszerzonej o procesy usuwania mikrozanieczyszczeń. Obecnie kontynuowane są badania nad włączeniem do istniejącego układu procesów ozonowania i sorpcji na węglu aktywnym. Zalety infiltracji zdecydowały o wprowadzeniu tego procesu do technologii I ciągu Wodociągu Centralnego w Warszawie. Około 50% wody zasilającej ten ciąg, złożony z filtracji pospiesznej i powolnej, stanowi woda infiltracyjna. Koszt produkcji wody w Wodociągu Praskim jest kilkakrotnie niższy niż w pozostałych wodociągach warszawskich.

Wnioski

♦ Infiltracja wody powierzchniowej jest naturalnym sposobem usuwania zanieczyszczeń, o efektach wyższych niż uzyskiwane w procesie koagulacji.

♦ Podstawą uzyskania optymalnych parametrów pracy ujęcia infiltracyjnego jest prawidłowe usytuowanie ujęcia, ułożenie drenów na odpowiedniej głębokości z uprzednim przygotowaniem złoża filtracyjnego, zachowanie nominalnych parametrów pracy drenów, a także utrzymanie ruchu rumowiska rzeczno-egzogenicznego oraz okresowe płukanie złoża nad drenami.

The Praga Waterworks of Warsaw and Their Achievements in River Water Infiltration

In September 1994, the Praga Waterworks celebrated their thirtieth anniversary. The technological train made use of by the Waterworks includes infiltration of Vistula river water, aeration, rapid filtration, and disinfection. The under-bottom infiltration intakes are of a special and unique design.

In the past thirty years many innovative concepts have been developed and implemented to optimize the infiltration process and the treatment train as a whole. The paper summarizes the experience gained from 30-year operation of under-bottom intakes.