

Apolinary L. Kowal

Wykorzystanie infiltracji w oczyszczaniu wody

Infiltracja została wprowadzona do techniki wodociągowej przed około 100 laty. Pierwotną przyczyną stosowania infiltracji było przeszacowanie zasobności wód podziemnych i konieczność ich uzupełnienia, czego najbardziej spektakularnym przykładem była katastrofa żelazowo-manganowa w wodociągach wrocławskich na początku wieku [1]. Obecnie infiltracja jest wykorzystywana do wzbogacania zasobów wód podziemnych w celu ich ujmowania do celów komunalnych, podwyższania poziomu wód podziemnych dla zapobiegania intruzji wód słonych, bądź infiltracji z zanieczyszczonych cieków, zapobiegania przesuszeniu terenów, sanacji wód podziemnych przy ich zanieczyszczeniu oraz magazynowania wód w zbiornikach podziemnych.

Ujmowanie wód podziemnych byłoby niemożliwe w wielu rejonach bez ich wzbogacenia przez filtrację i ten cel obecnie uznaje się za pierwszoplanowy.

Metody infiltracji

Metody infiltracji można podzielić na naturalne i sztuczne. Do naturalnych metod zalicza się infiltrację brzegową, gdy studnie lokalizuje się w dolinie rzeki, a woda dopływa do ujęcia wskutek wytworzonej depresji przy poborze wody. Również do naturalnych metod należy zaliczyć infiltrację poddenną, która jest np. stosowana na ujęciach wody z Wisły w Warszawie. Zasadniczą wadą infiltracji naturalnej jest konieczność przzerwania poboru wody w wypadku zanieczyszczenia wód powierzchniowych oraz brak możliwości wpływania na jakość wody infiltracyjnej. Jednakże badania prowadzone zarówno na ujęciach wód z infiltracji brzegowej jak i poddennej wykazują ogólnie znaczną poprawę jakości wody infiltracyjnej w stosunku do zasilającej wody powierzchniowej. W wypadku infiltracji brzegowej znaczny udział w ilości ujmowanej wody mają wody podziemne spływające w kierunku rzeki. Zatem jakość wody zależy również od udziału obu wód w mieszaninie. Często jednak wody z infiltracji brzegowej oraz poddennej oprócz cech wody podziemnej, tj. obecności dwutlenku węgla oraz związków żelaza i manganu, mają również podwyższoną utleniałość, zawartość ogólnego węgla organicznego i związków azotowych oraz niekiedy barwę [2].

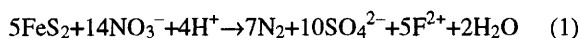
W badaniach nad oczyszczaniem wody z infiltracji brzegowej z Renu stwierdzono, że z obu ciągów technologicznych obejmujących ozonowanie wstępne, filtrację pospieszną, infiltrację (czas przepływu w gruncie ok. 20 d) oraz sorpcję na węglu aktywnym, uzyskano istotne obniżenie stężeń AOX i OWO oraz absorbancji w UV w wodach po infiltracji

sztucznej, w porównaniu z infiltracją brzegową [3]. Czas czynnej pracy węgla aktywnego był również znacznie dłuższy, a dodatkową zaletą infiltracji sztucznej było znacznie lepsze wyrównanie temperatury wody, niż podczas samej infiltracji brzegowej. Należy również i w tym wypadku podkreślić korzyści wynikające z obecności zapasu wody w gruncie, co umożliwiła poniechanie poboru wody z infiltracji brzegowej w wypadku awaryjnego zanieczyszczenia wód w rzece.

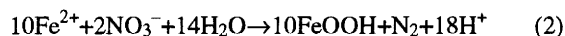
Infiltracja wyraźnie obniża obciążenie węgla aktywnego związkami humusowymi – prekursorami THM, w porównaniu z wodami pobieranymi bezpośrednio z rzeki [4]. Badania prowadzone na wodociągach warszawskich wykazały ogromną przewagę w jakości wody z infiltracji poddennej, w porównaniu z wodą powierzchniową. Wodociąg Praski w Warszawie, ujmujący wodę z infiltracji poddennej, oczyszcza ją stosując takie techniki jak dla wód podziemnych. Wodociąg Centralny do oczyszczania wody infiltracyjnej stosuje bardziej złożoną technologię uzdatniania, gdyż układ jest już do tego przygotowany. Wody z infiltracji poddennej z Wisły są całkowicie pozbawione glonów, których zakwity w rzece trwają do ośmiu miesięcy w ciągu roku, utrudniając procesy technologiczne oczyszczania wody [5]. Również wskaźniki bakteriologiczne wody w procesie infiltracji ulegają znakomitej poprawie.

Ren, który jest uważany za kanał Europy, jest 2-3-krotnie mniej obciążony związkami organicznymi od wód Łaby, z której również pobiera się wody z infiltracji brzegowej oraz do infiltracji sztucznej [6].

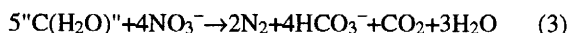
Tereny infiltracji sztucznej są wyłączone z rolniczego użytkowania, w wyniku czego stwierdza się systematyczny ubytek stężenia azotanów w wodach podziemnych. W Niemczech i Francji znajdują się zakłady oczyszczania wody stosujące biologiczną denitryfikację wód podziemnych [7]. Obszary skażenia wód podziemnych azotanami w krajach o intensywnej gospodarce rolnej ciągle rosną. W infiltracji brzegowej i poddennej należy liczyć się z pewnym obniżeniem zawartości związków azotowych, amonifikacją azotu organicznego, nitryfikacją azotu amonowego oraz denitryfikacją azotanów. Ten ostatni proces zależy od wielkości strefy beztlenowej podczas infiltracji, co może mieć miejsce w infiltracji brzegowej, natomiast w wypadku infiltracji poddennej ujmowana woda zawiera przeważnie tlen. W tych warunkach w zasadzie nie dochodzi do denitryfikacji. Denitryfikacja może nastąpić również w obecności siarczków żelaza w gruncie lub osadach, zgodnie z reakcją:



i następnie:



Obie reakcje są katalizowane przez mikroorganizmy – przy utlenianiu siarczków przez *Thiobacillus denitrificans*, a żelaza – *Gallionella feruginea*. Denitryfikacja heterotroficzna w obecności związków organicznych może przebiegać wg reakcji, która przebiega wydajniej przy prostych związkach organicznych:



W infiltracji brzegowej wody podziemne zawierają związki żelaza i manganu, natomiast wody infiltrujące z rzeki – jeżeli są już odtlenione – mogą również wzbogacać się w żelazo i mangan i będą miały obniżone stężenia azotu ogólnego na skutek przebiegu procesów amonifikacji, nityfikacji i denitryfikacji. Jeżeli jednak wody z infiltracji brzegowej będą zawierały tlen, to procesy denitryfikacji oraz przyrost stężenia związków żelaza i manganu będą marginalne.

Wody ujmowane zarówno z infiltracji brzegowej, poddanej jak i sztucznej, stanowią mieszaninę wód podziemnych i powierzchniowych. Udziały obu rodzajów wód są trudne ale możliwe do oszacowania. Przeważnie jednak istotny jest efekt końcowy, tj. skład ujmowanych wód.

Na ujęciu infiltracyjnym wody w Legnicy występuje wyraźna różnica w składzie wód pochodzących z infiltracji brzegowej z Kaczawy oraz wód z infiltracji sztucznej ze stawów, na korzyść tych ostatnich. W środkowym biegu Łaby ujmują się wody z infiltracji brzegowej [6]. Przy oddaleniu studni ujmujących wodę od linii brzegowej minimum 120+250 m i maksimum 150+400 m, czasy przepływu wody w gruncie wynoszą od 50 do 200 d. Udział wód z infiltracji brzegowej wynosi 60+80%, a pozostałość stanowią napływające wody podziemne. Ujmowane wody są jednak oczyszczane tak jak wody powierzchniowe, w następującym układzie: korekta pH wapnem, koagulacja, sedymentacja, filtracja pospieszna oraz dezynfekcja chlorem i dwutlenkiem chloru.

W badaniach półtechnicznych nad oczyszczaniem wód z infiltracji brzegowej z Łaby stwierdzono wysokie obciążenia wody związkami organicznymi, co ograniczało czasy pracy filtrów węglowych. Z tego względu zastosowano również okresowe dawkowanie węgla pylistego oraz wprowadzono ozonowanie ($1 \text{ gO}_3/\text{m}^3$), uzyskując obniżenie stężenia rozpuszczonego węgla organicznego o około 20%. Procesy infiltracji brzegowej w tym wypadku zachodziły w warunkach beztlenowych, co wyraźnie różniło je od zjawisk zachodzących w infiltracji sztucznej, które przeważnie przebiegają najpierw w warunkach tlenowych, następnie anoksydacyjnych i beztlenowych, a tylko przy bardzo krótkich czasach pasażu wody w gruncie procesy te zachodzą wyłącznie w środowisku tlenowym.

Sztuczne metody infiltracji obejmują te wszystkie przypadki, w których woda jest pobierana z rzeki, a następnie infiltrowana. Do infiltracji wykorzystuje się stawy infiltracyjne, łąki nawadniane, nawadnianie bruzdowe, rozdeszczanie, rowy i galerie infiltracyjne, filtry powolne z otwartą przestrzenią denną oraz niekiedy również studniami pionowymi pod dnem filtrów powolnych, studnie infiltracyjne pionowe i radialne, drenaże rozsączające. Studnie i drenaże mogą wprowadzać wodę nad bądź pod zwierciadło wód podziemnych [8]. Wody mogą być wstępnie oczyszczone przed infiltracją, bądź muszą – w wypadku stosowania studni, galerii i drenaży infiltracyjnych. Pomimo wstępnego oczyszczania wody dochodzi okresowo do kolmatacji studni i drenaży i dlatego należy przewidzieć możliwość ich oczyszczania.

Przy metodzie infiltracji przez filtrację powolną także zaleca się wstępne oczyszczanie wody. Zakres wstępnego oczyszczania jest bardzo zróżnicowany, począwszy od sit, krat i filtracji pospiesznej, aż do pełnego oczyszczania wody powierzchniowej z koagulacją, sedymentacją, filtracją, ozonowaniem i sorpcją na węglu aktywnym [9]. Dobrym przykładem celowości wstępnego oczyszczania wody przed infiltracją są wodociągi berlińskie [1]. W 1966 roku zastosowano mikrosita do wstępnego oczyszczania wody z Szprewy przed infiltracją. Okazało się to jednak niewystarczające, gdyż częstotliwość czyszczenia stawów była za duża. W latach 1982–1984 wybudowano zakład uzdatniania wody powierzchniowej w układzie złożonym z koagulacji, sedymentacji i filtracji pospiesznej. Uzyskano wodę o zawartości zawiesin $<1 \text{ g/m}^3$ i nawet wówczas konieczne było czyszczenie stawów dwa razy w roku. Ujmowane wody infiltracyjne miały skład dobrych wód podziemnych, o bardzo wyrównanym składzie i temperaturze. Stosunkowo szybka kolmatacja stawów była wynikiem produkcji własnej stawów.

W Zagłębiu Ruhry od dawna stosuje się infiltrację do wzbogacania zasobów wód podziemnych [1]. Woda z rzeki Ruhry jest wstępnie oczyszczona w układzie złożonym z ozonowania wstępnego, koagulacji w pulsatorach i akceleratorach, wtórnej ozonowania, filtracji pospiesznej na filtrach dwuwarstwowych oraz sorpcji na węglu aktywnym. Oczyszczona woda jest następnie doprowadzana do studni infiltracyjnych i krytych kanałów infiltracyjnych, a ujmowana studniami lewarowymi. W Zagłębiu Ruhry stosowano również infiltrację przez otwarte filtry powolne oraz filtry powolne ze studniami infiltracyjnymi pod dnem filtrów powolnych. Skuteczność infiltracji okazała się tak wysoka, iż ujmowana woda praktycznie nie wymaga uzdatniania, a przed oddaniem do sieci jest tylko dezynfekowana chlorem i stabilizowana ługiem sodowym. Kryte kanały infiltracyjne są wypełnione żwirem o uziarnieniu 4+8 mm i wysokości warstwy 1,0+1,5 m. Obciążenie powierzchni kanałów wynosi około $1,6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Przy tak wysokim obciążeniu czas pasażu wody w gruncie wynosi 1+3 d, natomiast przy infiltracji brzegowej około 8 d.

Badania procesów jednostkowych zachodzących w czasie infiltracji, przeprowadzone na wodociągach wrocławskich, wykazały bardzo wysoki stopień oczyszczania wody w gruncie, z obniżeniem utlenialności, intensywności barwy i stężenia azotu organicznego. Jednocześnie stwierdzono obniżenie pH wody, a także przyrost stężenia dwutlenku węgla oraz związków żelaza i manganu, w wyniku czego woda nabrała cech wody podziemnej [12].

Porównanie skuteczności infiltracji z pracą filtrów powolnych wykazało, że w infiltracji dochodziło do prawie pełnego usunięcia związków azotowych, podczas gdy w filtrach powolnych proces kończył się na nityfikacji. Infiltracja wykazała również wielką odporność na zalanie terenów wodonośnych w czasie powodzi we Wrocławiu w 1997 r. Po przerwie w ujmowaniu wody, w wyniku zalania terenów wodonośnych i pompowni, i wznowieniu poboru wody nie stwierdzono zmian w jej jakości. Wodociągi wrocławskie eksploatują około 50 ha stawów infiltracyjnych, przy łącznej powierzchni terenów wodonośnych około 1000 ha. Przy pełnym wykorzystaniu stawów i terenów można by było uzyskać wodę infiltracyjną w ilości około 300 tys. m^3/d .

Wodociągi w Legnicy ujmują wodę z infiltracji sztucznej w ilości około 30 tys. m^3/d , eksploatując 20,4 ha stawów infiltracyjnych, przy całkowitej powierzchni terenów wodonośnych

wynoszących 90 ha. Ujmowana woda, w której około 70% stanowią wody infiltracyjne, odpowiada jakościowo dobrej wodzie podziemnej, o niewielkiej zawartości związków żelaza, manganu i agresywnego dwutlenku węgla. Znaczące zmniejszenie zawartości związków żelaza i manganu oraz podwyższenie pH wody uzyskano po wprowadzeniu wapnowania terenów ujęć (2-krotnie w roku po 150 t wapna nawozowego) [13]. W kilku wodociągach w Polsce, w których stosuje się infiltrację, wykorzystuje się do tego celu stawy infiltracyjne, praktycznie bez wstępnego oczyszczania wody. W Niemczech do nawadniania również wykorzystuje się najczęściej stawy infiltracyjne [14]. Wprowadzenie mechanicznego czyszczenia stawów infiltracyjnych obniżyło znacznie koszty eksploatacji, gdyż maszyna może oczyścić, w zależności od warunków, od 100 do 1000 m²/h. Zebrana warstwa piasku – po przemyciu – może być ponownie zasypana na dno stawów, ale równie często jest zastępowana świeżym piaskiem, przy czym 2/3 powierzchni stawów infiltracyjnych ma przygotowaną warstwę filtracyjną o miąższości 0,5+3,5 m i uziarnieniu do 4 mm.

Prędkość infiltracji w stawach jest zróżnicowana i wynosi od 0,2 do 1,6 m/d. Z danych niemieckich również wynika, że jednostkowy wydatek stawów infiltracyjnych między kolejnymi czyszczeniami wynosi od 136,4 m³/m² w wypadku prostego wstępnego oczyszczania wody, do 200 m³/m² przy zaawansowanym wstępnym oczyszczaniu wody. Cykl czyszczenia stawów wynosi od 4 tygodni do 4 lat, przeciętnie jednak 7,5 miesiąca. Zarówno we Wrocławiu, Legnicy jak i w Poznaniu prędkość infiltracji wynosi ≤0,1 m³/m²d, gdyż infiltracja traktowana jest jako proces samoczynny, a nie sterowany. Można wnosić, że te zakłady mają wielką potencjalną możliwość zwiększenia wydajności układu infiltracji.

Należy stwierdzić, że skuteczność infiltracji w Niemczech (przeciętnie 50% obniżki utlenialności i OWO, usuwanie azotu amonowego do setnych części gN/m³, zmniejszenie liczby kolonii bakterii i bakterii *coli* o 2+3 rzędy wartości) jest zbliżona do wartości uzyskiwanych w Polsce, jednakże przy znacznie niższej wydajności jednostkowej [9]. Obecnie około 10% wody pobieranej w Niemczech do zaopatrzenia ludności pochodzi z ujęć infiltracyjnych i obserwuje się tendencję wzrostową.

W Polsce, przy niedoborze wód podziemnych i stałym obniżaniu ich poziomu, infiltracja powinna być stosowana coraz szerzej. Nadmierny pobór wód podziemnych może prowadzić do wzrostu stężenia związków żelaza, manganu i siarczanów w wodach, jak to miało miejsce we Wrocławiu [1] oraz niedawno na ujęciach wód podziemnych w Zielonej Górze i Raciborzu [15]. Należy również brać pod uwagę zanieczyszczenie wód podziemnych azotanami. Ilości ujmowanych wód podziemnych z nadmiarem azotanów wynoszą w Holandii 20%, w RFN – 15%, Francji, Szwajcarii, Włoszech i Anglii po 10%, a w Danii i Szwecji – 8% [16]. W wyniku infiltracji uzyskuje się biologiczną denitryfikację, a poza tym tereny sztucznej infiltracji są wyłączone z rolniczej eksploatacji. Wzbogacanie zasobów wód podziemnych utrudnia również ich degradację.

Podsumowanie

Sztuczna infiltracja służy do wzbogacania zasobów wód podziemnych, zapobiega przesuszeniu terenów, obniżeniu poziomu wód podziemnych i zmianom ich jakości. W wyniku

infiltracji uzyskuje się wodę o jakości wód podziemnych. Przemiany jakościowe wód powierzchniowych w czasie infiltracji prowadzą do pełnej mineralizacji organicznych związków węgla i azotu. Ważną zaletą sztucznej infiltracji jest wyrównanie temperatury wody oraz utworzenie zapasu wody w gruncie, co umożliwia – w razie konieczności – przerwę w poborze wody powierzchniowej.

W kraju stosuje się do sztucznej infiltracji wyłącznie stawy infiltracyjne, natomiast nie wykorzystuje się możliwości infiltracji przez łąki zalewane, rozdeszczanie, kanały infiltracyjne, bądź bardziej złożonych systemów drenażowych poprzedzonych wstępnym oczyszczaniem wody. Zastosowane w kraju poddne ujęcia drenażowe należy uznać za unikalne rozwiązania, których przydatność została rozpoznana i wysoko oceniona na ujęciach wody z Wisły w Warszawie.

Infiltracja brzegowa jest często wykorzystywana i traktowana jako ujęcie wód podziemnych, w których udział wód powierzchniowych infiltrujących z rzeki jest często nierozpoznany. W warunkach pogarszania się jakości wód z infiltracji brzegowej należy zmniejszyć pobór wody lub wykorzystać możliwości, jakie daje sztuczna infiltracja. W Polsce stwierdza się stałe obniżanie poziomu wód podziemnych, dlatego sztuczna infiltrację należy wprowadzać wszędzie tam, gdzie warunki geologiczne to umożliwiają, traktując ją w rejonach stepowienia jako zabieg poprawiający zasobność wód podziemnych.

LITERATURA

1. Ergebnisse von Untersuchungen über die Ursachen der Grundwasserverschlechterung in Breslau. Thieme und Meinecke. Breslau 1910.
2. W. WESTLER, J. NITZCHE, M. KRÜGER: Untersuchung zur Beschaffenheit des Uferfiltrats in den Torgauer Talgrundwasserleitern. GWF, 1996, 9, S. 480.
3. Fallbeispiel Aufbereitung von Rheinuferfiltrat. Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserchemie und Wassertechnologie GmbH, 1993.
4. M. GERLACH: Zur Bedeutung von Huminstoffen bei der Trinkwassergewinnung aus Uferfiltrat. JWW Journal, 1998, 5.
5. A. L. KOWAL, Z. ŁEPKOWSKI: Usuwanie mikroorganizmów na drodze klarowania i filtracji w niektórych wodociągach w Polsce. Ochrona Środowiska, 1996, nr 2(61), ss. 3–6.
6. M. KRÜGER, J. NITZCHE: Trinkwasser aus Uferfiltrat der Elbe. W. W. Tech., 1998, 7, S. 49.
7. A. L. KOWAL: Usuwanie związków azotowych z wody. Politechnika Wrocławska, raport nr 36, Wrocław 1997 (praca nie publikowana).
8. P. GROMBACH et al.: Handbuch der Wasserversorgungstechnik. R. Oldenbourg Verlag, 1985.
9. A. L. KOWAL, M. ŚWIDERSKA-BRÓŻ: Oczyszczanie wody. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa–Wrocław 1998.
10. B. HEINZMAN, K. WASCHER: Aufbereitung von Oberflächenwasser zur Grundwasseranreicherung in Jungfernheide. GWF, 1997, 9, S. 464.
11. G. BUNDERMANN, M. SCHÖPEL: Infiltration von aufbereiteten Flusswasser über Sickerschlitzgräben. GWF, 1995, 5, S. 229.
12. A. L. KOWAL: On unit processes during infiltration. Studies on Environmental Sciences, 23, Elsevier, Amsterdam 1984.
13. A. L. KOWAL: Opinia o jakości wody dostarczanej do sieci wodociągowej w Legnicy z ZPW w Przybkowie. Wrocław 1995 (praca nie publikowana).

14. W. D. SCHMIDT: Stand der künstlichen Grundwasseranreicherung in Deutschland. GWF, 1994, 5, S. 273.
15. A. L. KOWAL: Określenie perspektyw rozwoju ujęć wód podziemnych przy ul. Bogumińskiej i ul. Gamowskiej w Raciborzu w aspekcie pogarszających się własności fizykochemicznych wody z eksploatowanych ujęć. MPWiK, Racibórz 1998 (praca niepublikowana).
16. M. SELL et al.: Katalytische Nitratreduktion in Trinkwasser. Vom Wasser, 1992, 79, S. 129.
-

Infiltration and Water Treatment

The paper includes an account of major infiltration methods. In more detail analyzed are bank infiltration, artificial infiltration and bottom infiltration, as well as their inherent advantages and drawbacks. Indicated are also uses where infiltration is applicable in Poland and in other countries. In Poland, use is made of infiltration ponds for the needs of artificial infiltration. Bottom infiltration, carried out at the intakes of riverine water from the Vistula, is regarded as highly effective, as it can be inferred from the examples of the water intakes for the city of Warsaw. According to the author of the paper, infiltration is

recommendable for drinkingwater intakes because of the increasing groundwater deficit and also because of the groundwater parameter variations in case of excess water intake (examples are provided and discussed in detail). In Poland, infiltration water is not subject to pretreatment, but liming of the infiltration water intake area (e.g. in Legnica, Lower Silesia) has reduced iron and manganese concentration of the infiltrating water, thus enabling the content of the two species to be decreased to trace amounts via aeration and filtration.