

WYKORZYSTANIE SZTUCZNEJ INFILTRACJI W ODNOWIE WODY

Wykorzystywanie wody, pochodzącej z odnowy jest w niektórych krajach stosowane w coraz szerszym zakresie. Doświadczenia uzyskiwane tam, w zrealizowanych w skali technicznej obiektach, eksploatowanych w ciągu wielu lat pozwalają na wyciągnięcie cennych wniosków. Rozwiązaniem alternatywnym do odnowy wody jest najczęściej sprowadzanie jej z obszarów odległych, nierzadko o wiele kilometrów. Czynniki ekonomiczne, przy prawidłowo ustalonych cenach i kosztach są tam zwykle najistotniejszym kryterium optymalizacyjnym. Przedmiotem dalszych rozważań jest problematyka związana z praktycznym wykorzystywaniem infiltracji, jako elementu procesu technologicznego odnowy wody. Przyjęto, że chodzi o zespoły urządzeń, których zadaniem jest celowe wprowadzenie ścieków do gruntu, a następnie po uzyskaniu wymaganych cech — ujęcie i użytkowanie tej wody. Nie zajmowano się tu zagadnieniem rolniczego wykorzystywania ścieków, skutkami nieprawidłowo działających urządzeń do transportu, gromadzenia i przeróbki odpadów stałych oraz ścieków, czy oddziaływaniem wód rzecznych na jakość wód podziemnych.

Wykorzystanie procesów infiltracji do oczyszczania wody lub ścieków

Ten sposób wzbogacenia istniejących zasobów wody, względnie jej uzyskiwania jest wykorzystywany w praktyce wodociągów od kilkadziesiąt lat. Istnieją zróżnicowane układy urządzeń, realizujących ten proces. Przyjmując systematykę wg Wieczystego [10], dawniejsze rozwiązania zaliczyć możemy do typu infiltracji naturalnej a częściowo wymuszonej. Nowsze obiekty, wobec powszechnego zanieczyszczenia wód zasilających, wykorzystują infiltrację sztuczną tj. wprowadzanie wody do złoża wodonośnego za pomocą studni chłonnych lub basenów, lub stawów nawadniających, nazywanych też infiltracyjnymi. Tylko ten sposób umożliwia w praktyce wstępne oczyszczenie wody lub ścieków zasilających złożo wodonośne, co w istotnym stopniu poprawia efekty infiltracji pod względem jakości i wydajności uzyskiwanej wody oraz wydłuża długość „życia” złoża wodonośnego. Zjawiska zachodzące w trakcie infiltracji dotyczą jak wiadomo zarówno ilości jak i jakości.

Tematyka ta jest rozległa, stanowi przedmiot wielu badań i prac zamieszczanych zarówno w podręcznikach [10] jak i bogatym piśmiennictwie technicznym [2, 3, 4, 5, 7, 9].

Z dostępnych informacji wynika, że wprowadzenie infiltracji ścieków, jako świadomego sposobu wzbogacenia eksploatowanych szczupłych zasobów wodnych miało miejsce co najmniej 50 lat temu [9]. Można zatem uznać, że tak długo wykorzystywana jest już infiltracja dla odnowy wody. W naszym kraju również prowadzi się rozważania na ten temat [6].

Ma to miejsce w obszarach gdzie opady są niskie, warunki hydrogeologiczne korzystne (tzn. podłoże jest zbudowane z utworów przepuszczalnych, o znacznej miąższości) a wartość zapotrzebowania na wodę przekracza wydajność łatwo dostępnych jej źródeł. Woda tak uzyskana charakteryzuje się zróżnicowanymi cechami jakościowymi, zależnymi od składu wprowadzanych ścieków, obciążenia hydraulicznego urządzeń nawadniających, warunków geologicznych i innych czynników, często jakość tej wody jest wysoka.

Identyfikacja warunków lokalnych oraz określenie właściwych parametrów infiltracyjnych, wymagają przeprowadzenia odpowiednich prac badawczych, prowadzonych na miejscu przewidywanym do wykorzystania przy pomocy urządzeń doświadczalnych, wykonanych w skali zbliżonej do naturalnej.

Ścieki, przed infiltracją są oczyszczane w zróżnicowanym stopniu, niekiedy tylko w oczyszczalniach konwencjonalnych [9], w innych przypadkach, w sposób bardziej złożony [1, 3], a następnie przy pomocy studni chłonnych lub częściej basenów nawadniających zostają wprowadzone do gruntu. Przy zastosowaniu infiltracji liczy się na następujące efekty:

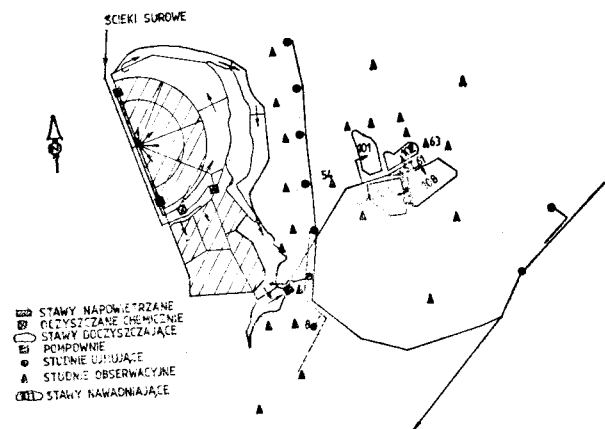
- dodatkowe oczyszczenie, w wyniku filtracji powolnej przez grunt oraz przesączenia się wody przez strefę aeracji, występują wtedy złożone i efektywne procesy fizyczne, chemiczne i biologiczne, takie jak adsorpcja, nitryfikacja-denityfikacja i wymiana jonów,
- sezonowe gromadzenie wody podziemnej, umożliwiające następnie jej pobór w zróżnicowanej ilości, dostosowanej do potrzeb,
- rozcieńczenie „naturalnymi” wodami podziemnymi,

- zwiększenie stopnia niezawodności użytkowania wymaganej jakości,
- korzystniejszą charakterystykę ekonomiczną.

Skrótowną charakterystykę efektów, uzyskiwanych w dłuższych okresach czasu, przy pomocy różnych sposobów infiltracji ścieków przedstawiono dla wybranych przykładów poniżej.

Wprowadzanie ścieków do gruntu przez baseny infiltracyjne

Jeden z obiektów zrealizowano w strefie Morza Śródziemnego, w wyniku kilkuletnich prac badawczo-poszukiwawczych, dla uzyskania wody, która po zmieszaniu z wodą pochodzącą ze źródeł naturalnych zostanie doprowadzona do sieci komunalnej dużej aglomeracji [3, 4]. Warunki geologiczne w tym obszarze są dla infiltracji korzystne. Przy powierzchni terenu zalega bezwodna warstwa piasków wydmywanych o miąższości około 25 m, pod nią znajduje się warstwa wodonośna z piaskowców o lepishczu wapiennym, jej grubość wynosi przeszło 100 m. Ścieki surowe kierowane są do stawów napowietrzanych, do odpływu z nich dodaje się roztwór mleka wapiennego Ca/OH_2 oraz chlorku magnezu MgCl_2 . W reaktorze następuje klarowanie ścieków, stąd osad odprowadzany jest na laguny i poletka osuszające. Ścieki charakteryzujące się $\text{pH}=11,5$ dopływają do stawów „doczyszczających” (ang: polishing ponds), tu następuje usunięcie amoniaku na drodze przemiany jonu amonowego NH_4^+ na wolny amoniak NH_3 , który ulatnia się. Zmniejsza się również zawartość substancji organicznych, mierzonych jako BZT_5 , ChZT i całkowity węgiel organiczny. Ostatnim urządzeniem są baseny infiltracyjne, które wprowadzają ścieki do gruntu, pracują one w sposób cykliczny. Dobę trwa napełnianie stawu do wysokości ścieków = 2,0 do 2,5 m, następnie przez 2-3 doby prowadzi się odsączanie ścieków, co zapewnia stałe zachowanie strefy aeracji. Średnie roczne obciążenie hydrauliczne wynosi około $0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dobę}$ i zależy od potrzebnego stopnia oczyszczenia i temperatury ścieków.



Rys. 1. Schemat usytuowania urządzeń

Wtórne ujęcie wody przewidziano przy pomocy studni wierconych, umieszczonych w odległości od 400 m do 1700 m od basenów infiltracyjnych, wzajemny odstęp studni wynosi od 300 m do 400 m.

Szkic rozmieszczenia podano na rys. 1. Wydajność jednej studni wynosi średnio około $300 \text{ m}^3/\text{h}$ do $400 \text{ m}^3/\text{h}$.

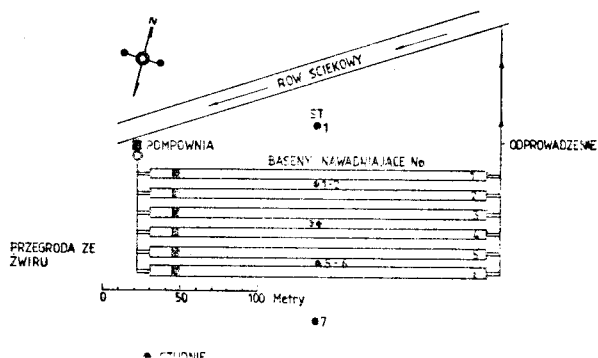
Jakość wody dostarczanej z tych ujęć jest bardzo wysoka, niektóre wskaźniki zawiera tab. 1.

Tabela 1
EFEKTY INFILTRACJI ŚCIEKÓW Z OCZYSZCZALNI CHEMICZNO-BIOLOGICZNEJ (WARTOŚCI ŚREDNIE)

Lp.	Wskaźnik	Ścieki wprowadzane do gruntu	Wody pobierane ze studni Nr 61
1	2	3	4
1.	Zawiesina	g/m^3	15
2.	BZT_5	gO_2/m^3	8
3.	ChZT	gO_2/m^3	60
4.	Utlenialność	gO_2/m^3	12
5.	Rozpuszczony węgiel organiczny	g/m^3	15
6.	Azot całkowity	„	7–10
7.	Azot amonowy	g/m^3	1–5
8.	Fosfor	„	1,0
			0,02

Drugi z wybranych przykładów, to obiekt doświadczalny, eksploatowany przez 10 lat, o wydajności około 7 tys. $\text{m}^3/\text{dobę}$ [2].

Szkic sytuacyjny przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat usytuowania urządzeń

Budowa geologiczna jest tu następująca: w górnej strefie znajduje się 1,0 m drobnego, gliniastego piasku ($K=1,5 \text{ m}/\text{dobę}$), pod nim, do głębokości około 75 m zalegają warstwy grubszego piasku i żwiru, podłoże stanowi gлина. Głębokość lustra wody wynosi przeciętnie 3,0 m pod terenem, wahania wynoszą plus 1 m oraz minus 2 m do 3 m. Przewidziano oczyszczanie ścieków mechaniczno-biologiczne, przy pomocy osadu czynnego.

Następnym obiektem są baseny infiltracyjne, przewidziano ich 6 sztuk, każdy o wymiarach $6 \times 210 \text{ m}$, wysokość napełnienia wynosi za ledwie 0,15 m lub 0,30 m. Eksploatację tego obiektu prowadzono również cyklicznie, okres napełniania trwał najczęściej 5-20 dni a długości przerw wynosiły latem 10 dni, zimą 20 dni.

W rejonie basenów infiltracyjnych wykonano szereg studni obserwacyjnych i ujmujących (rys. 2).

Przeciętne obciążenie hydrauliczne wynosiło 0,21 m³/m².d, wahając się od 0,16 m³/m².d do 0,32 m³/m².d. Efekty oczyszczenia, na skutek infiltrowania były dobre, przy czym zależały one od obciążenia hydraulicznego i odległości studni ujmującej (lub badawczej) od basenów infiltracyjnych oraz od wysokości złoża, przez które przebiegała filtracja. Charakterystykę jakościową przedstawiono w tab. 2. Wydaje się, że podkreślenia wymaga zależność stopnia usuwania azotu od obciążenia hydraulicznego stawu infiltracyjnego. Przy obciążeniu przeciętnym rzędu 0,3 m³/m².d efekt oczyszczenia wynosił 35% azotu ogólnego, przy obciążeniu rzędu 0,16 m³/m².d. zmniejszenie tej domieszki wynosiło 65% tj z 27,4 g/m³ do 9,6 g/m³.

Tabela 2

EFEKTY INFILTRACJI ŚCIEKÓW Z OCZYSZCZALNI MECHANICZNO-BIOLOGICZNEJ

Lp.	Wskaźnik	Ścieki wprowadzone do gruntu		Wody pobierane ze studni	
		zakres	średnio	zakres	średnio
1.	Zawiesina g/m ³	10—70	32,2	0—1	0
2.	BZT ₅ gO ₂ /m ³	10—20	—	—	1,0
3.	ChZT gO ₂ /m ³	30—60	—	10—20	—
4.	CWO gO ₂ /m ³	10—30	—	0—10	4,0
5.	Azot całkowity gN/m ³	—	27,4	—	9,6
6.	Fosfor g/m ³	—	7,9	—	0,51
7.	Bakteria coli szt./100 ml	10 ⁵ —10 ⁶	—	100—10	—
8.	Wirusy PFU/100 ml	—	2118	—	0

Stwierdzono też, że stopień usunięcia fosforu zależy od odległości na jaką przemieszczają się ścieki w gruncie. Np przepływ 9,0 m w głąb oraz 30 m w kierunku poziomym dawał zmniejszenie zawartości fosforu z 9,4 g/m³ w ściekach do 0,5 g/m³ w wodzie pobieranej ze studni tj. o około 94%. Występowało w dość wysokim stopniu usuwanie bakterii oraz prawie całkowite eliminowanie wirusów.

Podkreślić należy, że mimo 10-letniej eksploatacji nie stwierdzono zmian ani w wydajności tego złoża wodonośnego, ani w efektywności procesów technologicznych, w nim przebiegających [2].

Infiltracja oczyszczanych ścieków przez studnie chłonne

Jest stosowana wtedy, gdy wprowadzamy do gruntu ścieki w niewielkiej ilości, w bardzo wysokim stopniu oczyszczone. Przykładem tego może być tzw. „Fabryka Wody XXI Wieku”, tj. stacja odnowy w Orange County (Południowa Kalifornia). Po mechaniczno-biologicznym oczyszczeniu, ścieki podlegają koagulacji wapnem, sedymentacji, odpędzeniu („stripping”)

amoniaku, saturacji dwutlenkiem węgla, chlorkowaniu do punktu przełamania, filtracji na złożach wielowarstwowych, adsorpcji na węglu aktywnym i końcowej dezynfekcji chlorem. Wprowadzono tam również, dla oczyszczenia około 30% ścieków urządzenia do odwróconej osmozy. Tak oczyszczane ścieki są odprowadzane do zbiornika, a następnie za pomocą pomp o napędzie gazowym włączane do 23 studni iniekcyjnych. Wydajność tej stacji odnowy wynosi około 57 tys. m³/dobę, zatem na jedną studnię przypada około 100 m³ wtłoczonych ścieków na godzinę. Urządzenia do wprowadzania oczyszczonych ścieków stanowią około 8% kosztów inwestycyjnych i około 11% kosztów eksploatacyjnych [1].

Ekonomiczne aspekty wykorzystania infiltracji do odnowy wody

Wykorzystanie infiltracji w odnowie wody daje wyraźne efekty technologiczne, co oddziałuje również na ekonomikę rozwiązań. Wobec tego, że opisane wyżej obiekty zrealizowano w krajach o innej strukturze kosztów i cen jak u nas, postanowiono dla uzyskania informacji typu orientacyjnego porównać wskaźniki techniczno-ekonomiczne, ustalone dla stacji odnowy o wydajności = 15 tys. m³/d, — do procesu infiltracji.

Konieczne było dokonanie szeregu założeń. Przyjęto mianowicie, że współczynnik wodoprzepuszczalności gruntu wynosi 10 m/d, co odpowiada drobnym piaskom, woda zalega od głębokości 5 m pod terenem, miąższość warstwy wodonośnej wynosi 15 m, wysokość depresji roboczej równa się 5 m. Stosując znane wzory obliczono [10], że zasięg promienia depresji = 160 m, wydajność jednej studni = 0,008 m³/s tj. 690 m³/dobę. Łącznie z obiektami rezerwowymi przyjęto 30 studni o głębokości 22 m, a potrzebną powierzchnię terenu = 80 ha.

Przy założeniu średniego obciążenia hydraulicznego basenów nawadniających = 0,15 m³/m².d, potrzebna ich powierzchnia = 15 000 : 0,15 = 100 000 m². Długość rurociągów doprowadzających wodę ze studni przyjęto = 6,5 km o średnicach 200-400 mm. Orientacyjny koszt tych obiektów w cenach 1978 roku wynosi:

Studnie — 660 mb po 15 000 zł/mb
Rurociągi — 6500 mb po 2500 zł/mb
Baseny nawadniające — 100 000 m² po 300 zł/m²
Wykup gruntu 80 ha po 400 tys. zł/ha
Łączny koszt wynosi 88 150 tys. zł

Wskaźnik kosztów budowy = 88 150 000 : (365 15 000) = 16,1 zł/m³.

Zużycie mocy przez 1 podwodny agregat pompowy, o wymaganych parametrach wynosi 7,5 kW, zakładając 24 agregaty czynne, mamy dobowe zapotrzebowanie energii = 4320 kW a rocznie 1577 tys. kWh, co daje 1 577 000 : (365 15 000) = 0,29 kWh/1m³.

Wg [8] dla „klasycznej” nityfikacji i denitryfikacji koszt budowy wynosi 57,0 mln zł, natomiast roczne zużycie energii elektrycznej sięga 12 200 KWh/dobę tj 4453 tys. KWh na rok, wskaźnik zużycia energii wynosi tu zatem 0,81 KWh/1m³

W tej samej stacji odnowy wody analizowano również potrzebę budowy złóż sorpcyjnych z węglem aktywnym, ich koszt oszacowano na 52,0 mln zł. W znacznej mierze funkcje technologiczne tego obiektu mogłyby zostać przejęte przez proces infiltracji.

Przedstawione wyżej dane ilustrują wysokość kosztów, oraz ich strukturę. Istotną rolę odgrywają tu warunki naturalne, które oddziałują także na wydajność studni, pole powierzchni gruntu, koszty wykupu itp.

Podsumowanie i wnioski

1. Sztuczna infiltracja jest w naszych warunkach realnym sposobem odnowy wody, o atrakcyjnych cechach technologicznych i względnie niskim zapotrzebowaniu energii. Umożliwia ona uzyskiwanie wody o korzystnych cechach, przy ograniczeniu „sztucznych” urządzeń do oczyszczania.
2. Parametry tego procesu należy ustalać na podstawie badań terenowych w odpowiedniej skali, przez przeciąg co najmniej kilkunastu miesięcy.
3. Walory ekonomiczne infiltracji zależą w znacznym stopniu od lokalnych warunków, w tym również naturalnych. Stąd wynika potrzeba indywidualnej analizy celowości

jej zastosowania w konkretnych warunkach.

LITERATURA

1. D. G. ARGO: Cost of water reclamation by advanced wastewater treatment. JWPCF 1980 r., nr 4, ss. 750—759.
2. H. BOUWER, R. C. RICE, J. C. LANCE, R. G. GILBERT: Rapid-infiltration research at Flushing Meadows Project. Arizona. JWPCF, 1980 r., Nr 10, ss. 2457—2470.
3. E. IDELOVITCH: Wastewater reuse by biological-chemical treatment and groundwater recharge. JWPCF 1978 r., nr 12, ss. 2723—2740.
4. E. IDELOVITCH, R. TERKELTOUB, M. MICHAIL: The Role of Groundwater Recharge in Wastewater Reuse. Israelis' Dan Region Project. JAWWA 1980 r., Nr 7, ss. 391—400.
5. A. L. KOWAL: Charakterystyka stawów infiltracyjnych a skład wody. Materiały symposium „Metody ujmowania wód podziemnych”. Częstochowa 1979 r., ss. 83—90.
6. M. LEBIEDOWSKI: Perspektywy i możliwości odnowy wody ze ścieków Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej. Materiały na sesję naukową Wysokoefektywne Metody Oczyszczania Ścieków, Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki, Kraków, 1978 r., t. I, ss. 53—67.
7. E. W. MIELCARZEWICZ i inni: Zasady projektowania obiektów sztucznej infiltracji wody. Materiały Seminarium Projektantów Wodociągów. Biuro Projektów Budownictwa Komunalnego w Krakowie i PZiTS O/Kraków 1982 r., ss. 136—153.
8. S. RYBICKI, W. GOSTYŃSKI, K. KUBICA, J. ŻBIK: Koncepcja stacji odnowy wody dla miejscowości X. Biuro Projektów Budownictwa Komunalnego w Krakowie. Praca wykonana w ramach PR-7.05.01.19, Kraków, czerwiec 1981 r.
9. D. M. WELLS, R. M. SWEAZY, G. A. WHETSTONE: Long-term experiences with effluent reuse. JWPCF 1979 r., nr 11, ss. 2641—2648.
10. A. WIECZYSTY: Hydrogeologia inżynierska. PWN 1982 r.