

prof. zw. dr hab. inż. Edward Wł. Mielcarzewicz
dr inż. Halina Hotłoś
dr inż. Andrzej Kotowski
dr inż. Janusz Łomotowski

Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska
Politechnika Wroclawska

ZASADY PROJEKTOWANIA OBIEKTÓW SZTUCZNEJ INFILTRACJI WODY

Omówiono sztuczną infiltrację jako proces uzdatniania wody powierzchniowej oraz metody obliczeń hydraulicznych różnych typów infiltracyjnych ujęć wody. Przedstawiono ponadto podstawy projektowania basenów infiltracyjnych oraz zakres badań przedprojektowych.

Sztuczne wprowadzanie wody powierzchniowej do gruntu ma na celu: retencjonowanie wody w porach gruntu, wzbogacanie zasobów dynamicznych wód gruntowych, a także poprawę jakości wody powierzchniowej, dzięki przefiltrowaniu jej przez naturalne złoża gruntowe. Sztuczna infiltracja stosowana jest w warunkach gdy konieczne jest odsunięcie ujęcia infiltracyjnego od źródła pierwotnego wody powierzchniowej, ze względu na zbyt wielkie jej zanieczyszczenie lub utrudnioną więź hydrauliczną wody powierzchniowej z podziemną, albo zbyt małą szerokość koryta rzecznej i nie gwarantującą wystarczającego natężenia infiltracji liczonego na 1 m linii brzegowej, w końcu gdy koryto rzeczne wcięte jest w dolinę nie spełniającą odpowiednich kryteriów geologicznych i innych [6].

Woda wprowadzana jest do gruntu najczęściej powierzchniowo przez dno i brzegi basenów infiltracyjnych, rzadziej kanałów i rowów. Studnie chłonne i дренаż chłonny stosowane są dość wyjątkowo. Podstawową zaletą powierzchniowego wprowadzania wody do gruntu jest łatwość stabilizacji wydajności ujęcia infiltracyjnego, nawet w czasie kilkudniowego wstrzymania dopływu wody powierzchniowej, które zasilane jest wówczas wodą zgromadzoną w basenach.

W czasie przepływu wody przez basen, przez strefę aeracji, w końcu przez strefę saturacji do urządzeń ujmujących mieszaninę wody powierzchniowej i podziemnej przebiega proces jej uzdatniania. W procesie tym niepoślednią rolę odgrywają: tzw błona biologiczna, warstwa osadu odłożona na dnie basenów oraz w porach przydennej warstwy gruntu, a także strefa aeracji. Zachodzą tu procesy adsorpcji, wymiany jonowej i po części biodegradacji. Niekorzystnym zjawiskiem towarzyszącym powstawaniu błony biologicznej i warstwy osadu jest spadek wydajności ujęcia, z tego względu nie można dopuszczać do gromadzenia się osadów,

tym bardziej, że długo zalegające osady mogą być powodem pogorszenia się jakości wody bezpośrednio pod dnem basenu w porównaniu z wodą w basenie. Konieczne jest zatem stosunkowo częste usuwanie osadów i dekolmatacja dna.

Sztuczna infiltracja jako proces uzdatniania wody powierzchniowej

Sztucznej infiltracji wody powierzchniowej do gruntu towarzyszą korzystne zmiany składu wody. Huisman [2], analizując efekty pracy istniejących ujęć infiltracyjnych stwierdził, że:

- a) sztucznej infiltracji zawsze towarzyszy polepszenie składu bakteriologicznego wody; woda po infiltracji powinna być dezynfekowana, gdyż nie zawsze odpowiada normom stawianym wodzie do picia;
- b) infiltracja zawsze polepsza fizyczne właściwości wody: zmniejszeniu ulega roczna amplituda wahań temperatury wody; woda pozbawiona jest zawiesiny i mętności, obniżeniu ulega barwa wody;
- c) infiltracja zapewnia bardziej stabilny skład wody, niż to wykazują wody powierzchniowe wprowadzone do gruntu. Zmiany jakości wody zależą od wzajemnych oddziaływań warstwy wodonośnej. W porównaniu z jakością wód powierzchniowych, wody po infiltracji wykazują niższą utlenialność, zawartość substancji smakowych i zapachowych, azotu amonowego, azotynów i azotanów oraz tlenu. Wzrasta zawartość dwutlenku węgla i twardość wody. W zależności od składu wód podziemnych i budowy geochemicznej gruntu może nastąpić wzrost lub spadek zawartości żelaza i manganu w wodzie. Obecny stan badań procesu infiltracji umożliwia uzupełnienie ustaleń Huismana o następujące uogólnienia. Sztucznej infiltracji towarzyszy:

- a) częściowe usunięcie z wody powierzchniowej wirusów oraz związków fosforowych;

* Instytut Budownictwa Rolniczego Akademii Rolniczej we Wrocławiu

b) zmniejszenie sumy związków azotowych jako wynik przebiegających w gruncie procesów denitryfikacyjnych i wiązaniu jonów amonowych na drodze wymiany jonowej;

c) znaczne obniżenie stężeń metali ciężkich (bez uwzględnienia żelaza i manganu). Wielkość obniżenia zależy od rodzaju metalu i stężenia jego w wodzie powierzchniowej;

d) obniżenie zawartości związków organicznych, nie podlegających biodegradacji. Znacznemu obniżeniu ulega zawartość związków chloroorganicznych, amin organicznych, aromatycznych nitrozwiązków, pestycydów, herbicydów, detergentów i organicznych pochodnych fenolowych.

Z tych względów infiltracja jest dość atrakcyjnym procesem technologicznym, jeżeli nadmienić się, że całokształt zmian składu wody uzyskuje się na drodze procesów naturalnych, bez konieczności stosowania reagentów chemicznych. Efektywność uzdatniania wody w procesie infiltracji zależy w dużej mierze od jakości wody powierzchniowej. W przypadku wykorzystania do infiltracji wody powierzchniowej o małym stopniu zanieczyszczenia, infiltracja uzupełniona dezynfekcją może okazać się wystarczającym procesem dla uzyskania potrzebnej jakości wody. Przypadek ten ze względu na złą jakość wód powierzchniowych jest w Polsce dość rzadki. Najczęściej woda przed infiltracją musi być wstępnie uzdatniana. Wstępne uzdatnianie wody może być prowadzone:

— w celu ograniczenia intensywności kolmatacji basenów infiltracyjnych. W tym przypadku będzie to usuwanie z wody zawieszin, domieszek koloidalnych, planktonu i bakterii. Dla wód mętnych stosuje się przed infiltracją sedymentację lub prefiltrację, a gdy w wodzie występuje zakwit — mikrofiltrację;

— w celu częściowego uzdatniania wody. Procesy poprzedzające infiltrację obejmują wówczas najczęściej koagulację, filtrację na filtrach pospiesznych, mikrofiltrację. Konieczność rozbudowy wstępnego uzdatniania wody przed infiltracją wynika ze złej jakości wody powierzchniowej, w zakresie domieszek koloidalnych, biologicznych jak i chemicznych. Infiltracja w tym przypadku ma za zadanie wyrównanie składu i temperatury wody, usunięcie z wody substancji biogennych i refrakcyjnych na drodze naturalnej;

— w celu pełnego uzdatniania wody. Infiltrację w tym przypadku stosuje się dla stabilizowania składu wody oraz wykorzystania warstwy wodonośnej jako zbiornika retencyjnego.

O układzie technologicznym ostatecznego uzdatniania wody po infiltracji decyduje przede wszystkim skład naturalnych wód podziemnych, stosunek ilości wód infiltrujących do gruntu do zasobów dynamicznych wód podziemnych oraz właściwości geochemiczne warstwy wodonośnej. Gdy udział naturalnych wód podziemnych jest duży w wodzie po infiltracji,

to ujmowana woda może mieć skład zbliżony do naturalnych wód podziemnych. W zależności od składu wód podziemnych może zachodzić potrzeba odżelaziania lub odmanganiania wody po infiltracji.

Inną przyczyną wzrostu zawartości w wodzie po infiltracji jonów żelaza i manganu mogą być procesy wymywania minerałów z gruntu przez filtrującą wodę. Infiltracja wód powierzchniowych do gruntu powoduje, że skład wód podziemnych ulega zmianie. W wyniku tych zmian mogą zostać naruszone naturalne równowagi w środowisku geochemicznym, co intensyfikuje procesy wymywania. Szczególny wpływ na wymywanie jonów żelaza z gruntu ma wzrost potencjału redox, który następuje na skutek wzrostu w wodach podziemnych ilości wolnego tlenu. Przy wzroście potencjału redox, występujące pospolicie w gruncie siarczki żelaza są utleniane do siarczanów, co wybitnie zwiększa migrację jonów żelaza z wodami podziemnymi. Oceny procesów wymywania minerałów z warstwy wodonośnej do wód podziemnych na etapie projektowania można dokonać za pomocą wskaźnika migracji wodnej k_x zdefiniowanego wzorem:

$$k_x = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x} \quad (1)$$

Gdy $k_x > 1$ należy się spodziewać intensywnego procesu wymywania jonu z gruntu. Wartość $k_x < 1$ świadczy o niesprzyjających warunkach do zachowania procesów wymywania. Wskaźnik migracji wodnej umożliwia oszacowanie przyszłych procesów wymywania minerałów z gruntu, lecz nie pozwala na określenie dynamiki tego procesu.

W przypadku silnie zanieczyszczonych wód powierzchniowych, obok odżelaziania wody uzyskanej po infiltracji może zachodzić również konieczność stosowania procesu sorpcji i silnych utleniaczy.

W tabeli 1 zestawiono podstawowe układy technologiczne uzdatniania wody poddanej infiltracji, w zależności od jakości wody powierzchniowej, podziemnej i wartości wskaźnika migracji wodnej jonów żelaza i manganu.

Podstawy projektowania basenów infiltracyjnych

Z praktyki eksploatacyjnej infiltracyjnych ujęć wody wiemy, że zazwyczaj ich rzeczywista wydajność jest mniejsza, a niekiedy znacznie mniejsza od obliczeniowej, określonej w projekcie. Główną tego przyczyną jest niewystarczające uwzględnianie, bądź całkowite pomijanie w obliczeniach hydraulicznych procesów kolmatacyjnych, zachodzących w źródle infiltracji (basenie), w warstwie wodonośnej i w urządzeniach ujmujących wodę, jak również procesu odkładania się warstwy osadu na dnie basenów infiltracyjnych.

Kolmatacja może być mechaniczna, biologiczna lub chemiczna, w zależności od rodzaju czą-

L.p.	Charakterystyka wody powierzchniowej	Charakterystyka wód podziemnych	Charakterystyka gruntu Wskaźnik migracji wodnej jonów żelaza i manganu K _x	Schemat układu technologicznego uzdatniania wody
1	WODY CZYSTE o małej mętności (<20 mg SiO ₂ /dm ³) i barwie <160 g Pt/dm ³	mało żaźelazone	<1	infiltracja + dezynfekcja
		żaźelazone	>1	infiltracja + odźelazanie + dezynfekcja
2	WODY CZYSTE o okresowej podwyzszonej mętności do 200 mg SiO ₂ /dm ³	mało żaźelazone	<1	sedymencja (prefiltracja) + infiltracja + dezynfekcja
		żaźelazone	>1	sedymencja (prefiltracja) + infiltracja + odźelazanie + dezynfekcja
3	WODY CZYSTE o dużej zawartości planktonu (>10.000 komórek/cm ³)	mało żaźelazone	<1	mikrofiltracja + infiltracja + dezynfekcja
		żaźelazone	>1	mikrofiltracja + infiltracja + odźelazanie + dezynfekcja
4	WODY O DUŻEJ MĘTNOŚCI <200 mg SiO ₂ /dm ³ lub podwyzszonej barwie i utleniałości wody	mało żaźelazone	<1	koagulacja + sedymencja + infiltracja + dezynfekcja
		żaźelazone	>1	koagulacja + sedymencja + infiltracja + odźelazanie + dezynfekcja
5	WODY SILNIE zanieczyszczone	mało żaźelazone	<1	koagulacja + sedymencja + filtracja + ozonowanie + infiltracja + sorpcja + dezynfekcja
		żaźelazone	>1	koagulacja + sedymencja + filtracja + ozonowanie + infiltracja + odźelazanie + sorpcja + dezynfekcja

stek zatrzymanych w porach gruntu. Szybkość uszczelniania złoza zależy głównie od jakości wody i składu granulometrycznego gruntu; w przypadku piasków jest większa niż w przypadku żwiru, natomiast głębokość przenikania zanieczyszczeń jest większa w gruncie gruboziarnistym. Stąd celowe jest pokrywanie gruboziarnistych utworów, zalegających pod dnem basenów infiltracyjnych warstwą piasków średnio i drobnoziarnistych. Po zakończeniu wgłębnej kolmatacji o przepuszczalności złoza decyduje wytworzona błona mechaniczno-biologiczna. Po jej uformowaniu prędkość infiltracji wody nie zależy od uziarnienia złoza lecz od jakości wody (temperatury, mętności) oraz właściwości błony [1]. Z danych dotyczących eksploatacji infiltracyjnych ujęć wody na świecie wynika, że wydajność ich wskutek kolmatacji źródła infiltracji może zmniejszyć się 3—5 razy (niekiedy do 10 razy). Konieczne jest zatem uwzględnienie w projektowaniu ujęć infiltracyjnych procesów zmniejszających prędkość infiltracji.

W czasie eksploatacji basenów infiltracyjnych wydajność ich ulega zmianom. W okresie zalewania basenu następuje stopniowy wzrost średniej prędkości infiltracji odniesionej do całej powierzchni basenu. Przy punktowym doprowadzeniu wody, woda początkowo wsiąka do gruntu jedynie w najbliższym otoczeniu wlotu. Rozszerzenie powierzchni wsiąkania następuje w miarę jak natężenie wsiąkania wody do gruntu maleje w stosunku do natężenia dopływu wody do basenu. Z chwilą zalania całej powierzchni dna wodą rozpoczyna się napełnianie basenu; wówczas prędkość infiltracji osiąga maksymalną wartość, która utrzymuje się aż do chwili całkowitego napełnienia basenu. W tym czasie wzrost oporów spowodowany przez kol-

matację dna i błoną mechaniczno-biologiczną kompensowany jest wzrostem wysokości napełniania basenu. Po jego napełnieniu następuje spadek prędkości infiltracji początkowo dość szybki, a następnie wolniejszy, wywołany gromadzeniem się osadu na dnie basenu.

Ten okres pracy basenu, ze stałą wysokością napełniania, jest najdłuższym okresem w cyklu pracy basenu i ma duży wpływ na ilość wody wprowadzonej do warstwy wodonośnej. Gdy prędkość infiltracji spadnie do wartości minimalnej, basen wyłącza się z eksploatacji — usuwa się nagromadzone osady i regeneruje złoże filtracyjne, po czym następuje ponowne zalewanie basenu.

Przeprowadzona w dużym skrócie analiza działania basenów infiltracyjnych umożliwia sformułowanie zaleceń dotyczących ich projektowania.

- 1) Gdy warstwa wodonośna zbudowana jest z piasków gruboziarnistych lub żwirów zaleca się ułożenie na dnie basenu warstwy piasku o grubości 0,3—0,5 m i o $d_e=0,3—0,5$ mm — gdy woda nie jest wstępnie oczyszczona, lub piasku o $d_e=0,1—0,3$ mm gdy woda jest nieznacznie zanieczyszczona.
- 2) Średnia prędkość infiltracji, wg szeregu doświadczeń, wynosi 0,1—1,0 m/dobę — wyjątkowo więcej, określa się ją:
 - na podstawie pomiarów w czynnych basenach, lub w basenach doświadczalnych (pilotowych),
 - na podstawie badań w infiltrometrach, lub w kolumnach filtracyjnych,
 - metodą analityczną opartą również na badaniach terenowych.
- 3) Powierzchnię basenów infiltracyjnych określa się ze wzoru:

$$F = \frac{\beta (Q_u - Q)}{V_{inf}} \quad (2)$$

4) Długość basenów należy przyjmować w granicach 100—700 m [4]. Szerokość winna umożliwiać wytworzenie strefy aeracji pod dnem basenu o wysokości minimum 1,5—2,0 m. W przypadku jednostronnego ujmowania wody za pomocą grupy studzien czy drenażu nadbrzeżnego szerokość ta winna mieścić się w granicach 20—50 m; przy dwustronnym ujmowaniu wody 40—80 m (w zależności od wodoprzepuszczalności warstwy wodonosnej i odstępów studzien). Przy poddennym ujmowaniu wody szerokość basenu zależy od rozwiązania konstrukcyjnego ujęcia.

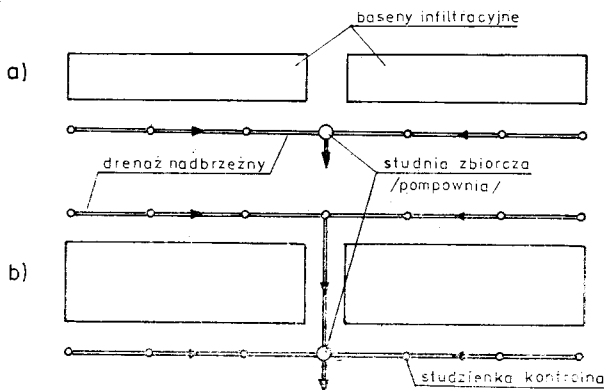
5) Głębokość wody w basenach zaleca się przyjmować 2—3 m. Dobrze jest jeśli dno wzniesione jest ponad zwierciadłem wody gruntowej, natomiast zwierciadło wody w basenie może być położone poniżej lub powyżej powierzchni terenu.

6) liczbę basenów należy określać kierując się wymaganą stabilnością wydajności ujęcia, nie powinna ona być jednak mniejsza od trzech.

Urządzenia do ujmowania wody infiltracyjnej

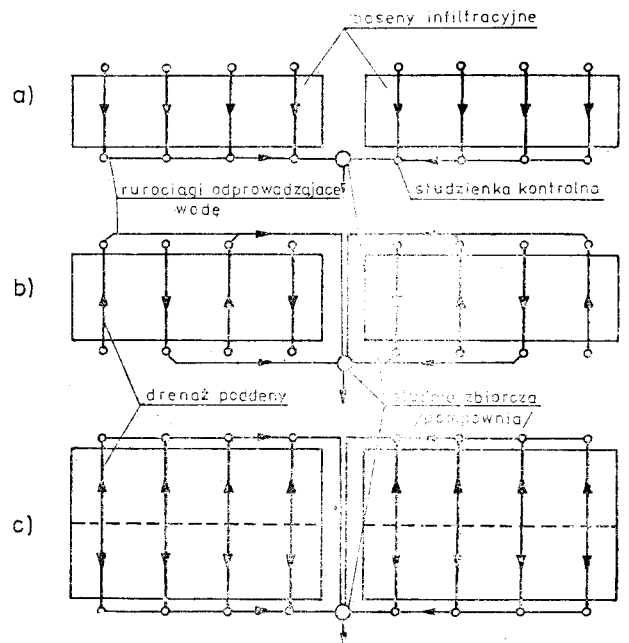
W warunkach sztucznej infiltracji wody poprzez baseny, do ujmowania wody infiltracyjnej stosowane mogą być:

- drenaże nadbrzeżne i poddenne (rys. 1, 2)
- ujęcia promieniste poddenne (rys. 3)
- szeregi studzien wierconych lub kopanych rozmieszczonych wzdłuż linii brzegowych basenów (rys. 4)
- ujęcia kombinowane łączące w jeden układ studnie i drenaże nadbrzeżne lub poddenne.

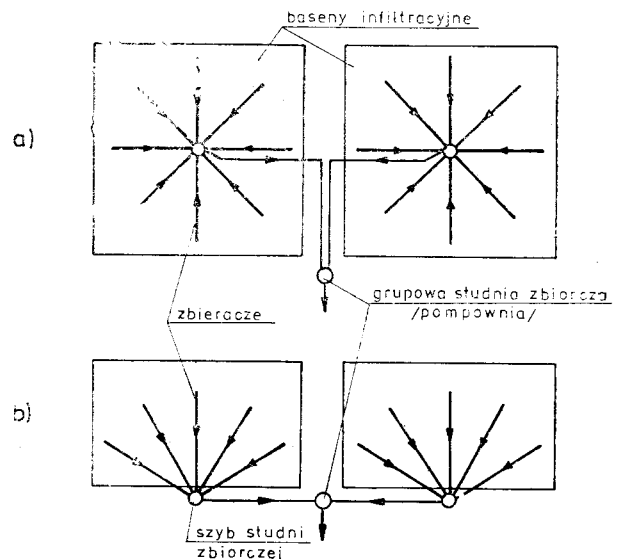


Rys. 1 Drenaż nadbrzeżny: a) układ jednostronny, b) układ dwustronny

Wybór typu ujęcia zależy od: budowy geologicznej warstwy wodonosnej, możliwości kadrowych i sprzętowych wykonawcy, chemizmu (korozyjności) wody podziemnej i infiltracyjnej oraz technologii i kosztów budowy.



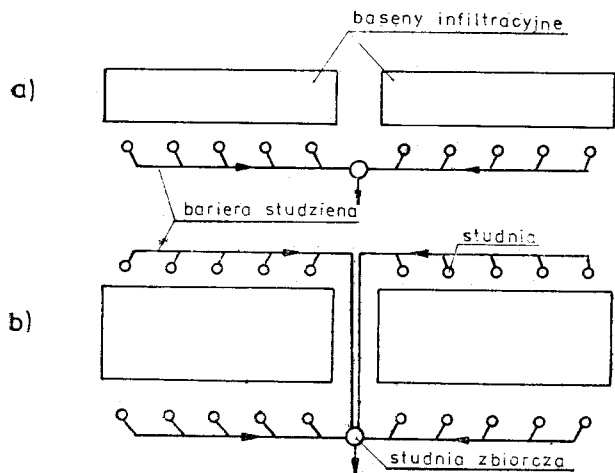
Rys. 2. Drenaż poddenny: a) jednostronny odbiór wody, b) przemienne odbiór wody, c) dwustronny odbiór wody



Rys. 3. Poddenne ujęcie promieniste: a) symetryczny układ zbierczy, b) niesymetryczny układ zbierczy

Ujęcia drenażowe — nadbrzeżne (rys. 1) stanowią ciągi drenarskie układane równoległe do linii brzegowej basenu w odległości 10—50 m. Głębokość ułożenia winna zapewnić wystarczającą wydajność nawet przy oderwaniu się zwierciadła dynamicznego wody podziemnej od dna basenu. Drenaż wykonany jest z rur odpowiednio perforowanych ($\varphi = 10\text{--}20\%$), otoczonych jedną lub dwoma warstwami obsypki. Ciągi drenarskie wyposażone są w studzienki rewizyjne, umożliwiające czyszczenie drenów i dekolmatację obsypki. Długość ciągu drenarskiego nie powinna przekraczać 300—400 m, a wyjątkowo do 500 m.

Ujęcia drenażowe — poddenne (rys. 2) wykonywane są w postaci zbieraczy układanych pod dnem basenów infiltracyjnych, na ogół prostopadle do ich dłuższego boku. Odbiór wody ze



Rys. 4 Nadbrzeżne ujęcie studzienne: a) bariera jednostronna, b) bariera obustronna

zbierraczy może być jednostronny (rys. 2a), przemienny (rys. 2b) lub dwustronny (rys. 2c). Najkorzystniejszy jest dwustronny odbiór wody, szerokość basenów może wówczas osiągać 80—100 m. Równie korzystny, ze względu na równomierne obciążenie dna basenów, jest przemienny odbiór wody. Przemienny i jednostronny odbiór wody ze zbieraczy wskazany jest wówczas, gdy szerokość basenu nie przekracza 60—50 m. Rozstaw zbieraczy należy przyjmować w granicach 30—50 m, a w warunkach występowania kolmatacji dna i powstawania strefy aeracji 40—80 m. Na końcach każdego zbieracza wskazane są studzienki kontrolne. Zbieracze należy umieszczać na głębokości nie mniejszej niż 4—5 m. pod dnem basenu. Zbieracze, podobnie jak dreny nadbrzeżne, mogą być układane w wykopach otwartych wykonanych z powierzchni terenu przed budową basenów lub za pomocą sprzętu pływającego po wykonaniu basenów i częściowym napełnieniu ich wodą. Średnica zbieraczy i drenów nadbrzeżnych mieści się w granicach 0,2—0,3 m.

Ujęcia promieniste (rys. 3) ze zbieraczami umieszczonymi pod dnem basenu infiltracyjnego składają się z szybu (studni zbiorczej) o średnicy 3,0—5,0 m, umieszczonego w centralnym punkcie basenu i zbieraczy rozmieszczonych symetrycznie (rys. 3a); jeśli szyb umieszczony jest na brzegu basenu, wówczas układ zbieraczy jest niesymetryczny (rys. 3b). Zbieracze mogą być wprowadzone do gruntu metodą wciskania szybu (Raney) lub wiercenia poziomego (Warnam) albo mogą być układane w wykopach otwartych wykonywanych z powierzchni terenu lub podwodnie za pomocą sprzętu pływającego, na głębokości 4,0—5,0 m pod dnem basenu lub głębiej. Optymalna liczba symetrycznie rozmieszczonych zbieraczy wynosi 5—8 szt., a ich długość 100—60 m, dopływ wody do zbieraczy jest wówczas w miarę równomierny. Zbieracze winny mieścić się w obrębie dna basenu infiltracyjnego. Zaleca się stosowanie średnic $d=0,2-0,3$ m.

Ujęcia kombinowane mogą być stosowane przy modernizacji i intensyfikacji istniejących ujęć, szczególnie gdy jest możliwe poszerzenie basenów i zwiększenie powierzchni infiltracji.

Obliczanie hydrauliczne ujęć infiltracyjnych

W obliczeniach hydraulicznych infiltracyjnych ujęć wody konieczne jest uwzględnienie wpływu na wydajność ujęcia, zarówno uszczelnienia dna basenów infiltracyjnych, cementacji filtrów ujęciowych oraz strat energetycznych przy przepływie przez perforowane rury filtrowe.

Można przyjąć w przybliżeniu, że maksymalne natężenie infiltracji q_1 z basenu do gruntu występuje wówczas, gdy suma strat hydraulicznych na pokonanie oporu warstwy osadu, błony mechaniczno-biologicznej i zakolmatowanej warstwy przydennej gruntu będzie równa wzniesieniu zwierciadła wody w basenie nad dnem — o ile zachowana jest ciągłość strugi infiltrującej wody, a jeśli doszło do uformowania strefy aeracji, to głębokość tę można zwiększyć o wysokość ssania kapilarnego gruntu.

Skutecznym sposobem przeciwdziałania cementacji filtrów jest utrzymywanie odpowiednio małej prędkości dopływu wody do filtra v_{dop} , aby uniknąć powstania turbulentnego ruchu wody. Prędkość ta powinna być w granicach:

$$v_{dop} = \frac{1}{30-45} \sqrt{k_f}, \quad \text{m/s} \quad (3)$$

Straty energetyczne Δs przy przepływie wody przez filtr (nie uszczelniony) można szacować na podstawie znanego wzoru Abramowa, a powstające wewnątrz rur filtrowych w czasie przepływu w nich wody ze wzoru Siwonina (Inst. Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej: Raport SPR Nr 11/82).

Formuły do obliczania hydraulicznego różnych typów infiltracyjnych ujęć wody odnoszą się do określonych schematów hydrogeologicznych. Żaden z nich nie uwzględnia uszczelnienia się dna źródła infiltracji i strat energetycznych, o których była mowa.

Dopływ jednostkowy q wody do drenu nadbrzeżnego można m. in. obliczyć ze wzoru Romanova (rys. 5):

$$q = q_1 + q_2 + q_3, \quad \text{m}^3/\text{s.m} \quad (4)$$

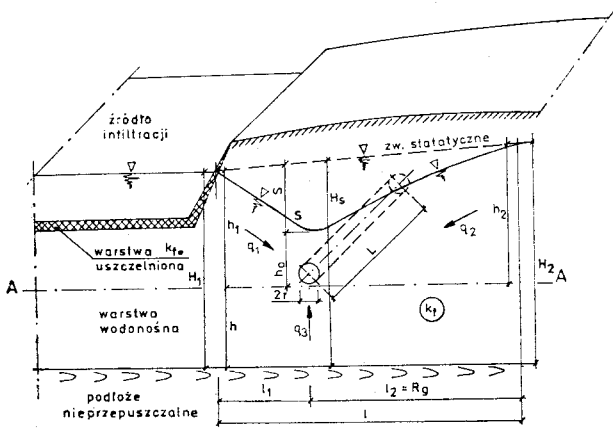
w którym:

$$q_1 = \frac{k_f(h_1^2 - h_0^2)}{2l_1} \quad (5)$$

$$q_2 = \frac{k_f(h_2^2 - h_0^2)}{2l_2} \quad (6)$$

$$q_3 = \frac{1,365 k_f s}{\lg \frac{h}{\pi r} + \frac{\pi l_1 l_2}{h l}} \quad (7)$$

gdzie: $l_2 \cong R + R_0$, a $R_0 \cong 0,25 L$.



Rys. 5 Schemat obliczeniowy drenażu nadbrzeżnego do wzoru Romanova

Wpływ uszczelnienia dna i brzegów basenu infiltracyjnego można (o ile nie dochodzi do oderwania się zwierciadła dynamicznego wody podziemnej od dna basenu) uwzględnić w przybliżeniu wprowadzając do obliczeń w miejsce l_1 wartość l'_1 , przy czym $l'_1 = l_1 + l_0$, a l_0 stanowi

zastępczą grubość warstwy uszczelnionej, którą można obliczyć ze wzoru:

$$l_0 = l_1^* k_f / k_f^*, \quad m \quad (8)$$

w którym:

l_1^* — grubość warstwy zakolmatowanej lub grubość warstwy osadów, m,
 k_f^* — współczynnik filtracji warstwy o grubości l_1^* , m/s.

Dopływ jednostkowy q wody do drenażu poddennego, w warunkach ciągłości strumienia infiltrującej wody można obliczyć ze wzorów Vedernikova, natomiast w warunkach występowania strefy aeracji można zaadaptować wzór Kostiakowa (rys. 6). Wg tego wzoru:

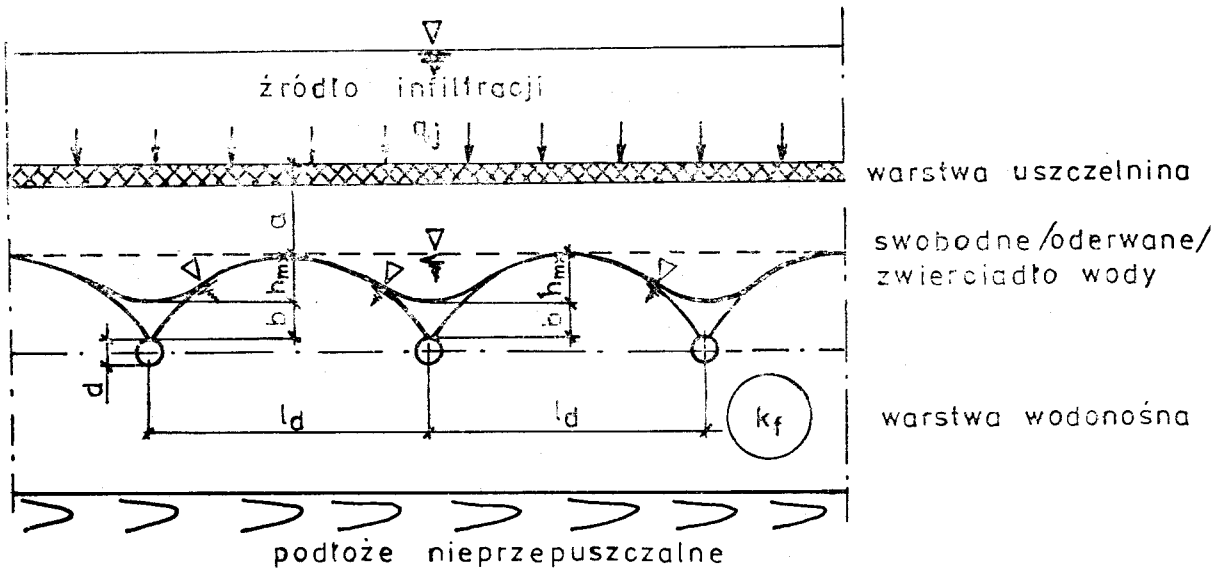
$$q = q_j l_d, \quad m^3/s \quad m \quad (9)$$

a rozstaw drenów l_d można obliczyć ze wzoru:

$$l_d \lg(l_d/d) = 1,365 h_{max} k_f / q_j, \quad m, \quad (10)$$

w którym:

h_{max} — maksymalne wzniesienie dynamicznego poziomu wody między drenami nad poziomem wody w drenach. Wartość h_{max} jak i a (rys. 6) zakłada się.



Rys. 6 Schemat obliczeniowy drenażu poddenne do wzoru Kostiakowa

Najefektywniejszym układem zbieraczy ujęcia promienistego jest układ symetryczny (rys. 3a). Wydajność takiego ujęcia Q_u można w przybliżeniu obliczyć ze wzoru Surova (rys. 7), odnoszącego się do warunków ciągłości strumienia infiltrującego wody [3]:

$$Q_u = \alpha \cdot c \cdot k_{fp} \cdot s \cdot n \cdot l_p \cdot \Phi^{-1}, \quad m^3/s \quad (11)$$

w którym:

α — współczynnik wzajemnego oddziaływania zbieraczy, (przyjmowany w granicach $0,6 \leq \alpha \leq 1,0$),

c — współczynnik zamulenia dna przyjmowany w granicach $0,3 \leq c \leq 0,8$,

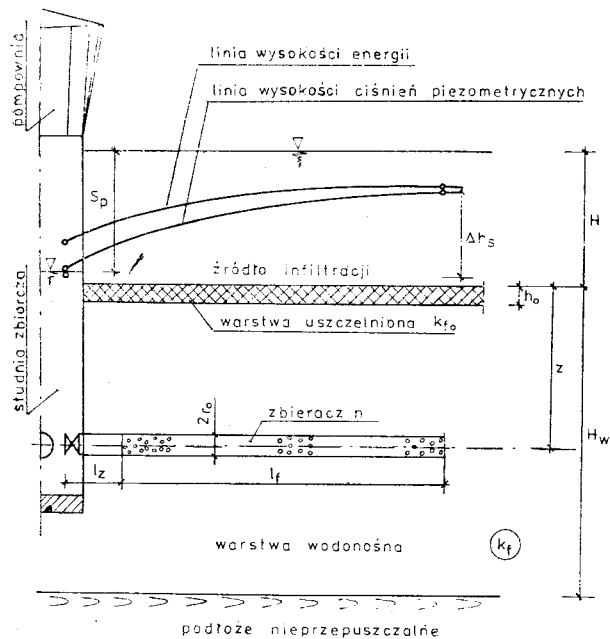
natomiast

$$k_{fp} = H_w \left(\frac{h_0}{k_{fo}} + \frac{H_w - h_0}{k_f} \right)^{-1}, \quad m/s, \quad (12)$$

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \ln \left[\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} \frac{2z + r_0}{H_w} \right) \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi}{4} \frac{r_0}{H_w} \right) \right] \quad (13)$$

W przypadku wystąpienia strefy aeracji wydajność ujęcia można w przybliżeniu oszacować na podstawie:

a) wzoru Surova, modyfikując schemat obliczeniowy (rys. 7) przez przyjęcie za poziom odniesienia nie zwierciadło wody w

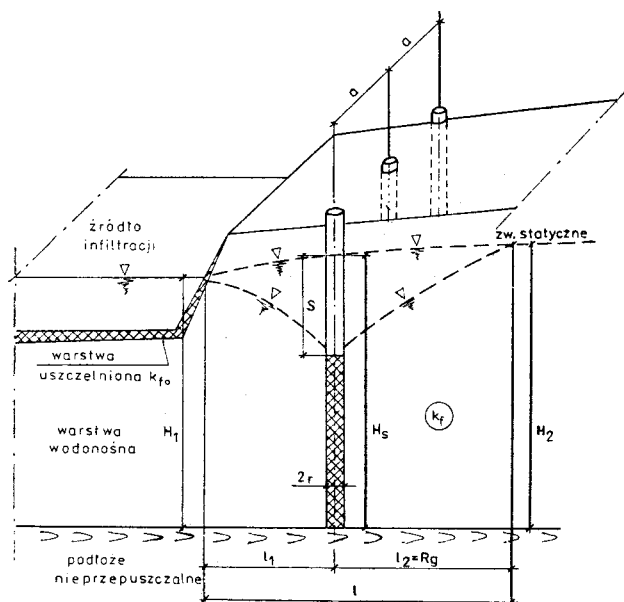


Rys. 7 Schemat obliczeniowy poddennego ujęcia promienistego do wzoru Surowa

basenie, a swobodne zwierciadło wody grun-
towej,
b) założenia szacunkowej prędkości infiltra-
cji wody do gruntu.

Wydajność nadbrzeżnego ujęcia studziennego
można obliczyć w przybliżeniu ze wzoru Roma-
nova (rys. 8) na dopływ wody do jednej współ-
działającej studni Q_n :

$$Q_n = 1,365 k_f s (2 H_s - s) \left(\lg \frac{a}{2\pi r} + \right. \\ \left. + \frac{2\pi l_1 l_2}{a l} \right) - 1, \text{ m/s} \quad (14)$$



Rys. 8 Schemat obliczeniowy bariery studzien nadbrzeżnych do wzoru Romanova

Przybliżone uwzględnienie uszczelnienia dna i brzegów jest możliwe w sposób wyjaśniony uprzednio. Wyniki obliczeń należy zweryfikować metodą bilansową.

Badania przedprojektowe

Studiami i badaniami przedprojektowymi należy objąć zarówno źródła pierwotne wody powierzchniowej jak i tereny ujęć oraz wody podziemne tam występujące.

Źródła pierwotne wody należy rozpoznać pod względem: hydrologicznym i jakości wody a ich zlewnie pod względem źródeł zanieczyszczenia wody. Tereny pod ujęcia infiltracyjne należy rozpoznać pod względem litologii, morfologii i pod względem hydrogeologicznym oraz składu geochemicznego gruntu.

Konieczne jest również przeprowadzenie badań technologicznych procesu wstępnego uzdatniania wody powierzchniowej, opracowanie prognozy jakości wody po infiltracji na podstawie badań na modelach i ustalenie technologii ostatecznego uzdatniania wody uzyskanej z infiltracji. Niezależnie od tego niezbędne jest również zbadanie na modelach dynamiki procesu kolmatacji, powstawania błony mechaniczno-biologicznej i osadów dennych, a także wpływu tych zjawisk na warunki infiltracji wody do gruntu i na jakość tej wody.

W przypadku dużych przedsięwzięć inwestycyjnych ($Q > 30.000 \text{ m}^3/\text{d}$) wskazana jest budowa w pierwszym etapie ujęcia doświadczalno-eksploatacyjnego, które poddane byłoby przez okres 2—3 lat kompleksowym badaniom, mającym na celu sprawdzenie słuszności założeń ilościowych i jakościowych przyjętych do projektowania, ewentualną ich weryfikację i wprowadzenie odpowiednich zmian do projektu dalszych etapów budowy ujęć.

LITERATURA

1. H. HOTŁOŚ: Badania wpływu wybranych czynników na wodochłonność basenów infiltracyjnych. Praca doktorska, Wrocław 1983.
2. L. HUISMAN: Artificial replenishment. Kongres IWSA, Sztokholm 1964
3. A. KOTOWSKI: Badania modelowe wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych infiltracyjnych ujęć promienistych wody na ich wydajność, Praca doktorska, Wrocław 1980
4. J. ŁOMOTOWSKI: Zmiany jakościowe wody podczas infiltracji. Praca doktorska, Wrocław, 1981
5. E. WŁ. MIELCARZEWICZ, A. KOTOWSKI, H. HOTŁOŚ, P. KOZAKOWSKI: Opracowanie podstaw metodycznych do projektowania modernizacji, rozbudowy i budowy infiltracyjnych ujęć wody miasta Wrocławia. Etap I i II. Raporty Inst. Inżynierii Ochrony Środowiska Polit. Wrocław. Wrocław 1981/82
6. E. WŁ. MIELCARZEWICZ, A. KOTOWSKI, H. HOTŁOŚ, J. ŁOMOTOWSKI: Podstawy stosowania sztucznej infiltracji wody powierzchniowej do gruntu w celu poprawy jej jakości i zwiększenia wydajności ujęć wody podziemnej. Raport Inst. Inż. Ochr. Środow. Polit. Wrocł. Wrocław 1982.

WYJAŚNIENIA OZNACZEŃ

a — mineralizacja wód podziemnych
d — średnica drenu lub szerokość obsypki filtracyjnej, m
F — powierzchnia basenów infiltracyjnych, m²
k_f — współczynnik filtracji warstwy wodonośnej, m/s
k_{fp} — średni współczynnik filtracji przy filtracji pionowej, m/s
k_x — wskaźnik migracji wodnej
L — długość drenu, m
l_d — rozstaw drenów, m
l_f — długość czynna zbieracza, m
m_x — zawartość rozpatrywanego składnika w wodach podziemnych

n — liczba zbieraczy
n_x — zawartość rozpatrywanego składnika w gruncie
q — dopływ jednostkowy wody do drenu
q_j — jednostkowe natężenie infiltracji wody przez dno basenu, m³/s m²
Q — dopływ wód gruntowych, m³/d
Q_u — wydajność ujęcia infiltracyjnego, m³/d
R — promień zasięgu depresji, m
s — depresja obliczeniowa, m
v_{dop} — prędkość dopuszczalna dopływu wody do filtru, m/s
v_{inf} — średnia prędkość infiltracji podczas pełnego cyklu pracy basenu
β — stała, wynosząca 1,1—1,25