

WPLYW PROCESU KOLMATACJI I ODKŁADANIA SIĘ OSADÓW NA WODOCHŁONNOŚĆ BASENÓW INFILTRACYJNYCH NA PRZYKŁADZIE UJĘĆ WODOCIĄGOWYCH M. WROCŁAWIA

Ograniczoność naturalnych zasobów wód podziemnych przy stale rosnącym zapotrzebowaniu na wodę, stwarza konieczność uzupełniania tych zasobów wodami powierzchniowymi. Ponadto wzrastające zanieczyszczenie wód powierzchniowych wskutek szybkiego rozwoju przemysłu i chemizacji rolnictwa, spowodowało intensywny rozwój metod sztucznego uzupełniania zasobów wód podziemnych, wodami powierzchniowymi.

Podjęte badania nad skutecznością infiltracji do uzdatniania zanieczyszczonych wód powierzchniowych, wykazały szczególną przydatność tej metody, jako procesu technologicznego. Zmianie uległ sposób oceny efektów działania infiltracyjnych ujęć wody. O ile początkowo infiltrację traktowano jedynie jako metodę zwiększenia zasobów wód podziemnych, to obecnie sztuczna infiltracja traktowana jest także jako proces technologiczny, wykorzystujący naturalne procesy zachodzące w gruncie, do uzdatniania wód powierzchniowych, wód pochodzących z odnowy i oczyszczania ścieków. Pomimo znacznego rozwoju infiltracyjnych ujęć wody na świecie, projektowanie ich oraz eksploatacja stwarzają wiele trudności. Związane jest to z brakiem metod, umożliwiających wiarygodne prognozowanie zarówno wydajności ujęć, jak i jakości wody po procesie infiltracji.

Wynika to ze złożoności zjawisk, towarzyszących procesowi infiltracji.

Zmiany wydajności basenów infiltracyjnych w czasie eksploatacji

Najbardziej rozpowszechnionym sposobem zasilania zasobów wód podziemnych wodami powierzchniowymi jest infiltracja poprzez dno i brzegi basenów infiltracyjnych. Charakterystyczną cechą infiltracyjnych obiektów zasilania m. in. basenów infiltracyjnych, jest konieczność okresowego przywracania ich zdolności filtracyjnych, zmniejszających się w czasie eksploatacji ujęcia.

Wielkość infiltracyjnego zasilania zasobów wód podziemnych wodami powierzchniowymi zależy od:

- zasobów dyspozycyjnych źródła infiltracji
- głębokości wody w źródle infiltracji
- wielkości powierzchni infiltracji
- wielkości obniżenia ciśnienia (depresji) na obszarze infiltracji, wywołanego czer-

paniem wody z ujęcia

- temperatury wody w źródle infiltracji
- stopnia i zasięgu kolmatacji dna i brzegów źródła infiltracji
- grubości i przepuszczalności warstwy osadów dennych.

Z praktyki eksploatacji infiltracyjnych ujęć wody wiemy, że istnieje znaczna rozbieżność między ich rzeczywistą (Q_{rz}) i obliczeniową ($Q_{obl.}$) wydajnością.

Zazwyczaj ma miejsce przypadek, kiedy $Q_{rz} < Q_{obl.}$ [1, 3, 4, 10, 11, 12, 13]. Z danych dotyczących eksploatacji infiltracyjnych ujęć wody na świecie wynika, że wydajność ich może się zmniejszyć 3-5 razy (niekiedy 10 razy). Główną przyczyną tego zjawiska jest nie uwzględnianie w znanych modelach matematycznych infiltracyjnych ujęć wody, procesów kolmatacyjnych, zachodzących w źródle infiltracji, w warstwie wodonośnej i w urządzeniach ujmujących wodę, jak również procesu odkładania się warstwy osadu na dnie źródła infiltracji.

Uszczelnienie gruntu zwane kolmatacją oraz wytworzenie na jego powierzchni błony mechaniczno-biologicznej występuje w czasie przepływu wody powierzchniowej, zanieczyszczonej związkami mineralnymi i organicznymi przez złożę gruntowe.

Ilość zatrzymanych w złożu gruntowym cząstek zanieczyszczenia, w jednostce czasu i w jednostce objętości gruntu oraz głębokość przenikania zanieczyszczeń zależy od:

- cieczy (lepkości, gęstości, natężenia przepływu)
- zawieszonych cząstek (stężenia, rozmiarów, kształtu)
- ośrodka gruntowego (porowatości, wielkości porów, wielkości i kształtu ziarn).

W zależności od rodzaju cząstek zatrzymywanych w porach gruntu, rozróżniamy trzy typy kolmatacji.

Kolmatacja mechaniczna wywołana jest zatrzymanymi w złożu cząstkami koloidalnymi lub zawiesiną. Usuwanie zanieczyszczeń z wody następuje wskutek wielu jednostkowych procesów, zachodzących w złożu gruntowym. Do ważniejszych zaliczyć należy: cedzenie, sedymentację, flokulację, sorpcję, kohezję, adhezję. Cząstki zanieczyszczenia większe od średnicy porów gruntu usuwane są z wody wskutek cedzenia. Natomiast usuwanie z wody cząstek o średnicy mniejszej zachodzi w procesie sedymentacji i flokulacji w porach gruntu.

Uszczelnienie gruntu wywołuje spadek przed-

kości filtracji wody, co umożliwia zatrzymywanie coraz drobniejszych cząstek zanieczyszczenia w gruncie.

Proces kolmatacji przebiega szybciej w gruntach drobnoziarnistych.

Kolmatacja chemiczna wywołana jest osadzeniem się na ziarnach gruntu nierozpuszczalnych w danych warunkach minerałów, szczególnie węglanu wapnia i żelaza. Proces kolmatacji chemicznej intensyfikuje się, jeśli obniżenie ciśnienia (depresja) przekroczy wartość $\Delta H_{\max}$ [6, 7]:

$$\Delta H_{\max} = H + h_o + h_u + h_k, \quad (1)$$

gdzie:

H — wysokość słupa wody w basenie

h_o — grubość warstwy osadu

h_u — grubość zakolmatowanej warstwy gruntu

h_k — wysokość ssania kapilarnego.

Pod dnem źródła infiltracji dochodzi wówczas do uformowania się swobodnego zwierciadła wody. Pory gruntu w przestrzeni położonej ponad tym zwierciadłem wypełnione są tylko częściowo przez swobodnie przesączającą się wodę, a częściowo zajęte są przez powietrze, parę wodną i gazy, wydzielające się z wody, co wpływa na wzrost procesu kolmatacji chemicznej.

Kolmatacja biologiczna wywołana jest zatrzymywaniem w złożu gruntowym żywych organizmów wodnych, głównie bakterii i glonów.

Błona mechaniczno-biologiczna. Spośród wymienionych rodzajów kolmatacji, największy wpływ na wydajność basenów infiltracyjnych ma kolmatacja mechaniczna. Natomiast po zakończeniu procesu kolmatacji o intensywności infiltracji wody decyduje głównie wytworzona na powierzchni gruntu błona mechaniczno-biologiczna. W skład błony wchodzi zarówno zanieczyszczenia mineralne i organiczne jak i żywe organizmy wodne. O szybkości przyrostu błony decyduje głównie jakość wody powierzchniowej, a szczególnie jej mętność oraz ilość glonów zatrzymanych na powierzchni gruntu podczas zakwitów wody.

Wytworzona błona mechaniczno-biologiczna, ze względu na bardzo małą wodoprzepuszczalność, w znacznym stopniu ogranicza infiltrację wody do gruntu, lecz jednocześnie wpływa korzystnie na jakość wody przefiltrowanej pod warunkiem, że okres jej zalegania na dnie basenów infiltracyjnych nie jest zbyt długi.

Ilość wody powierzchniowej, wprowadzanej do gruntu przez baseny infiltracyjne określa się za pomocą jednostkowej wydajności basenów (q_j) wyrażonej w $m^3/m^2 \cdot \text{dobę}$ lub za pomocą prędkości infiltracji wody (v_{int}) w m/d .

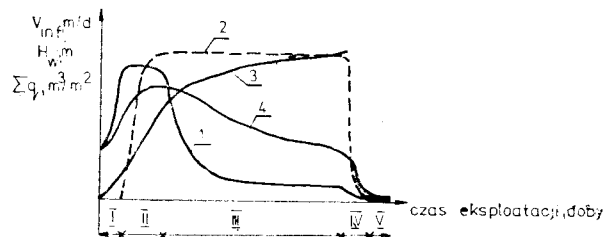
W sposób przybliżony prędkość infiltracji określa się przez pomiar obniżenia zwierciadła wody (ΔH) w basenie przy zamkniętym dopływie wody i czasu (Δt), w jakim to obniżenie nastąpiło:

$$v_{\text{int}}(t) = \frac{\Delta H}{\Delta t}. \quad (2)$$

Określona w ten sposób prędkość infiltracji nie daje obrazu zmian lokalnych prędkości na obszarze basenu, ale jest wystarczająca do scharakteryzowania hydraulicznych właściwości ba-

senu w rozważaniach inżynierskich.

Typowy cykl pracy basenu infiltracyjnego, eksploatowanego, w sposób periodyczny, można podzielić na pięć charakterystycznych okresów (rys. 1):



Rys. 1 Cykl pracy basenu infiltracyjnego: 1 — chwilowa prędkość infiltracji wody, 2 — głębokość napełnienia basenu wodą, 3 — wydajność basenu na jednostkę powierzchni dna, 4 — średnia w okresie pracy basenu prędkość infiltracji

- okres I zalewanie basenu wodą
- okres II napełnianie basenu wodą
- okres III eksploatacja basenu ze stałą wysokością napełnienia wodą
- okres IV wyłączenie basenu z eksploatacji
- okres V regeneracja zdolności filtracyjnych basenu.

Okres zalewania basenu wodą charakteryzuje się stopniowym wzrostem średniej prędkości infiltracji wody, odniesionej do całej powierzchni basenu, od wartości początkowej, zależnej głównie od rodzaju i wilgotności złoża gruntowego, do wartości maksymalnej. Okres ten ma decydujący wpływ na proces kolmatacji dna basenu. Jak wynika z badań [1, 9, 10], szczególnie szybko i intensywnie kolmatuje się górna warstwa gruntu grubości 0,01—0,05 m.

Napełnianie basenu wodą rozpoczyna się z chwilą zalania całej powierzchni dna basenu, a kończy, gdy poziom wody osiągnie wysokość określoną konstrukcją basenu. W okresie tym prędkość infiltracji wody do gruntu jest stała. Przyrost oporu zakolmatowanej warstwy dna basenu i tworzącej się na jego powierzchni błony mechaniczno-biologicznej kompensowany jest wzrostem wysokości słupa wody w basenie.

Okres III w cyklu pracy basenu infiltracyjnego, charakteryzuje się ciągłym spadkiem prędkości infiltracji, wody przy stałej wysokości napełnienia ($H_w = \text{const.}$) basenu wodą. O spadku prędkości infiltracji wody decyduje przyrost błony mechaniczno-biologicznej na dnie basenu oraz wodoprzepuszczalność tej błony.

Gdy prędkość infiltracji wody do gruntu spadnie do wartości minimalnej, basen wyłącza się zazwyczaj z eksploatacji (IV okres), w celu usunięcia nagromadzonych osadów oraz regeneracji złoża gruntowego (V okres).

Omówienie wyników badań parametrów pracy basenów infiltracyjnych ujęcia wrocławskiego

Omówienie wyników badań prędkości infiltracji wody

W wyniku wieloletnich badań, prowadzonych na infiltracyjnym ujęciu wód we Wrocławiu [8] stwierdzono, że prędkość infiltracji wody z basenów, w okresie ich pracy ze stałą wysokością napełnienia wodą, wynosi od kilku do około czterdziestu centymetrów na dobę, w zależności od czasu eksploatacji basenów. Zmiany prędkości infiltracji wody przedstawiono na przykładzie sześciu wybranych basenów, których okres eksploatacji wynosił od 0 do 5 lat bez czyszczenia.

Do basenów infiltracyjnych doprowadzana jest woda powierzchniowa z rzeki Oławy. Średnie miesięczne wartości wskaźników, charakteryzujących jakość tej wody i w decydujący sposób, wpływających na zmniejszenie wydajności basenów wynosiły w okresie badań:

mętność od 11,0 — 55,0 mg SiO₂/dm³

barwa 18,0 — 54,5 mgPt/dm³

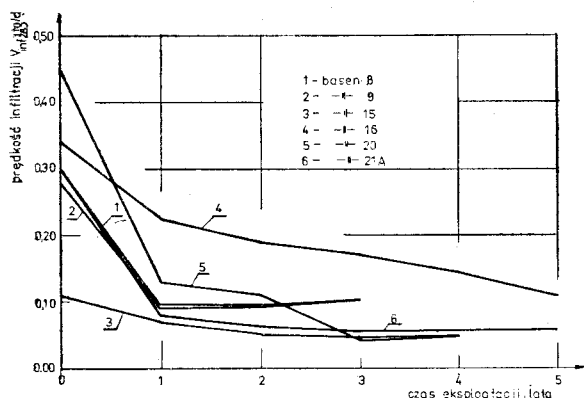
odeczyn pH 7,3 — 8,1

tlen 4,5 — 11,0 mg O₂/dm³

Wyniki pomiarów prędkości infiltracji wody zestawiono w tabeli 1 oraz na rys. 2.

Tabela 1
ZMIANY PRĘDKOŚCI INFILTRACJI WODY
W CZASIE EKSPLOATACJI BASENÓW INFILTRACYJNYCH

Numer basenu	Data czyszczenia basenu	Prędkość infiltracji, v_{inf} w m/d, w latach					
		1976	1977	1978	1979	1980	1981
1	2	3	4	5	6	7	8
8	RK 1978	-	-	0,30	0,096	0,096	0,100
9	RK 1978	-	-	0,28	0,092	0,094	0,100
15	1976	0,11	0,07	0,065	0,053	0,048	0,05
16	1976	0,34	0,25	0,19	0,173	0,146	0,11
20	1977	-	0,45	0,13	0,11	0,045	0,05
21 A	1976	0,304	0,08	0,065	0,057	-	0,06



Rys. 2 Prędkość infiltracji wody w funkcji czasu pracy basenów infiltracyjnych

Spadek prędkości infiltracji wody z basenów wywołany jest procesem kolmatacji przydennej warstwy gruntu oraz odkładaniem się na powierzchni dna basenów błony mechaniczno-biologicznej. Stwierdzono, że najszybszy spa-

dek prędkości infiltracji wody występuje w czasie pierwszego roku eksploatacji basenów. Okres ten jest jednak znacznie krótszy, lecz nie został ustalony w warunkach terenowych, z powodu braku możliwości częstszych pomiarów w czasie eksploatacji ujęcia. Największy spadek prędkości infiltracji wody w pierwszym roku eksploatacji wystąpił w basenach, położonych najbliżej ujęcia wody powierzchniowej (baseny 20 i 21A $L \cong 600-900$ m) i wynosił 71—74% od wartości początkowej. Ze wzrostem odległości basenów od ujęcia ($L = 1500-1900$ m baseny 8 i 9) spadek zmalał do 67—68%.

Najmniejszy spadek prędkości zaobserwowano w basenach położonych najdalej od ujęcia (baseny 15 i 16, $L = 3400-3700$ m) — o 25—36% wartości początkowej. Można to wytłumaczyć tym, że do basenów położonych blisko ujęcia wody powierzchniowej dopływa woda bardziej zanieczyszczona, ze względu na mały stopień oczyszczenia przez sedymentację w rowach zasilających. Powoduje to szybszą kolmatację przydennej warstwy gruntu oraz odkładanie się większej ilości osadów, co wpływa na gwałtowniejszy spadek prędkości infiltracji wody. Prędkość infiltracji w dalszym okresie pracy basenów ulega już nieznacznym zmianom i wynosi $v_{inf} = 0,05-0,11$ m/d. Po zakolmatowaniu gruntu, prędkość infiltracji zależy głównie od przepuszczalności błony mechaniczno-biologicznej, natomiast w mniejszym stopniu od jej grubości.

Na podstawie własnych wyników pomiarów oraz wyników badań prędkości infiltracji wody z basenów, prowadzonych przez M.P.W i K. we Wrocławiu stwierdzono, że początkowa prędkość infiltracji, w kolejnym cyklu pracy basenów po oczyszczeniu jest zazwyczaj mniejsza od prędkości początkowej, w cyklu poprzednim ($v_{inf} = 0,42$ m/d, $v_{inf} = 0,28$ m/d). W latach czterdziestych XX wieku wynosiła ona $\sim 1,0$ m/d, a obecnie zaledwie $\sim 0,30$ m/d. Wpływa na to prawdopodobnie zdejmowanie zbyt małej grubości warstwy gruntu zakolmatowanego. Nie bez znaczenia jest także wadliwa technologia czyszczenia basenów, przy użyciu ciężkiego sprzętu zmechanizowanego. Powoduje to zagęszczenie i uszczelnienie przydennej warstwy gruntu osadem z dna basenów.

Omówienie wyników badań wodoprzepuszczalności przydennej warstwy gruntu i warstwy osadu

Zjawisko kolmatacji nie zostało jeszcze w pełni poznane, ze względu na złożoność zachodzących jednocześnie procesów mechanicznych, chemicznych i bakteriologicznych. Występowanie tych procesów objawia się zmniejszeniem współczynnika filtracji przydennej warstwy gruntu.

Badania współczynnika filtracji gruntu i warstwy osadu wykonano w próbach pobranych

z ośmiu basenów infiltracyjnych. Próbkę gruntu pobierano w określonych punktach dna basenu z różnych głębokości, w większości — do głębokości 0,20—0,30 m pod powierzchnią dna basenu. Badania przeprowadzono przy różnym ciśnieniu hydrostatycznym wody na powierzchni próbki. W przypadku próbek gruntu ciśnienie hydrostatyczne zmieniano w granicach od 0,05—1,25 m, natomiast w przypadku próbek osadu — od 0,20—1,25 m.

Wyniki badań współczynnika filtracji próbek gruntu, pobranych z trzech basenów infiltracyjnych zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2

WYNIKI BADAŃ WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI PRZYDENNEJ WARSTWY GRUNTU BASENÓW INFILTRACYJNYCH

Numer basenu	Głębokość pobrania próby pod dnem basenu $m \cdot 10^{-2}$	Średnia wartość współczynnika filtracji, m/d	
		k_{FT}	k_{f283}
1	2	3	4
16	0—6,5	0,4650	0,3754
	6,5—13,0	0,7898	0,6384
	13,0—19,5	0,7799	0,6294
	19,5—28,0	2,4304	1,9549
32	0—8,5	0,1002	0,0785
	8,5—16,0	0,2285	0,1789
	16,0—24,0	0,7098	0,5558
	24,0—29,0	1,3330	1,0439
52	0—11,0	1,9837	1,5710
	11,0—24,5	6,4428	5,1097
	24,5—38,0	14,8557	11,7631
	49,0—60,0	0,0842	0,0668
	60,0—73,5	1,2718	1,0068
	73,5—85,0	9,2992	7,3381

Proces kolmatacji zachodzi najintensywniej w przypowierzchniowej warstwie gruntu, o czym świadczy bardzo mała wartość współczynnika filtracji. Wraz ze wzrostem głębokości intensywność procesu kolmatacji maleje — wartość współczynnika filtracji rośnie. Znaczne zmniejszenie współczynnika filtracji gruntu w basenie — na głębokości 0,49—0,735 m pod powierzchnią dna spowodowane zostało występowaniem na tej głębokości warstwy gruntu słaboprzepuszczalnego.

Współczynnik filtracji gruntu rodzimego, zalegającego pod dnem badanych basenów wynosił $\sim 30,0$ m/d.

Określenie zasięgu kolmatacji dna w basenach jest trudne, nie tylko ze względu na zbyt małą głębokość pobrania próbek gruntu w większości z nich, ale także na wpływ wadliwej technologii regeneracji zdolności filtracyjnych basenów, na ich wodoprzepuszczalność.

Zbadano 12 próbek osadu, w których stwier-

dzono obszar zmienności współczynnika filtracji (k_{f283}) w zakresie:

0,0031—0,0567 m/d.

W większości przypadków mieścił się on w granicach

0,0042—0,00995 m/d.

Analogiczny zakres zmienności współczynnika filtracji, stwierdzono w czasie badań osadów dennych z rzeki Oławy — $k_{f283} = 0,00432—0,017$ m/d [5]. Wodoprzepuszczalność warstwy osadu zależy w dużym stopniu od jej składu fizyczno-chemicznego i bakteriologicznego. Zwiększona zawartość w osadzie frakcji pyłowej i spławialnej, wyznaczonej metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego [2], w osadzie pobranym z miejsca odległego o ~ 175 m od doprowadzenia wody powierzchniowej do basenu, wyraźnie wpłynęła na spadek współczynnika filtracji osadu ($k_{f283} = 0,0127$ m/d) (tabela 3).

Tabela 3

WYNIKI ANALIZY AREOMETRYCZNEJ PRÓBEK OSADU

Odległość punktu poboru próbek osadu od doprowadzenia wody, m	Procentowa zawartość frakcji o średnicy cząstek w m. 10^{-3}				k_{f283} m/d
	żwirowa 20—1	piaskowa 1—0,1	pyłowa 0,1—0,02	spływialna $< 0,02$	
1	2	3	4	5	6
175	0	33,0	29,0	38,0	0,0127
w linii doprowadzenia	3,74	60,64	10,59	25,03	0,0420

Natomiast w osadzie, pobranym w linii doprowadzenia wody, zawartość frakcji żwirowej i piaskowej przeważała nad zawartością frakcji pyłowej i spławialnej, przez co współczynnik filtracji osadu był większy ($k_{f283} = 0,042$ m/d).

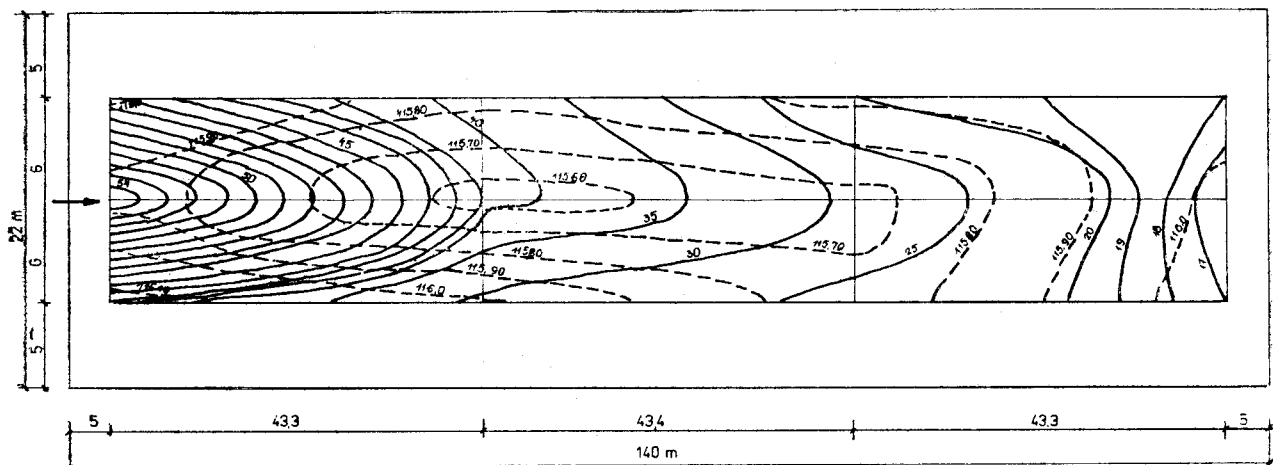
Z przeprowadzonych badań bakteriologicznych wynika, że bakterie zasiedlają głównie osad i $\sim 0,50$ m warstwę gruntu. Ilość bakterii w osadzie jest kilkakrotnie wyższa niż w gruncie zakolmatowanym, co ma także bardzo istotny wpływ na zmniejszenie wodoprzepuszczalności warstwy osadu.

Omówienie wyników badań grubości warstw osadu

Grubość wytworzonej warstwy osadu, na dnie basenów infiltracyjnych zależy przede wszystkim od jakości wody powierzchniowej oraz czasu eksploatacji basenów. W badanych basenach, których czas eksploatacji wynosił od 0 do 19 lat, grubość wytworzonej warstwy osadu wynosiła odpowiednio $\sim 0,01$ do $0,33$ m. Obliczony przyrost grubości warstwy osadu wynosi 0,005—0,029 m/rok, przeważnie 0,01—0,02 m/rok i zależy od odległości basenu od ujęcia wody powierzchniowej. W basenach położonych blisko ujęcia przyrost ten wynosi $\sim 0,02$ m/rok, natomiast w basenach bardziej odległych $\sim 0,01$ m/rok. Zakładając, że przyrost warstwy osadu, wskutek obumierania i opadania na dno planktonu jest we wszystkich basenach jednakowy, to stwierdzony mniejszy przyrost warstwy osadu w basenach położo-

Na podstawie szczegółowych badań rozkładu osadu na dnie basenów stwierdzono, że grubość warstwy osadu jest różna w zależności od

odległości rozpatrywanego punktu pomiarowego, od miejsca doprowadzenia wody powierzchniowej. Największą grubość warstwy osadu stwierdzono w pobliżu doprowadzenia wody oraz lokalnych zagłębieniach dna basenu (rys. 3).



Kreska ciągła — izolinie grubości warstwy osadu, m·10⁻²
Kreska przerywana — izolinie rzędnych dna basenu, m nmp
Strzałka — doprowadzenie wody powierzchniowej do basenu

1. Metoda sztucznego uzupełniania zasobów wód podziemnych wodami powierzchniowymi jest niezbędna w celu sprostania stale rosnącemu zapotrzebowaniu na wodę pitną, przy ograniczoności naturalnych zasobów wód gruntowych oraz wzrastającym zanieczyszczeniu wód powierzchniowych.
2. W celu uzyskania wody o odpowiedniej jakości konieczne jest stosowanie wstępnego uzdatniania wody, poddawanej infiltracji. Uzdatnianie to ma na celu m.in. zwolnienie szybkości procesu kolmatacji i odkładania się warstwy osadu.
3. Wydajność basenów infiltracyjnych zależy od właściwości filtracyjnych gruntu, zalegającego w podłożu, jakości wody powierzchniowej oraz czasu eksploatacji basenów.
4. Na skutek procesów kolmatacyjnych następuje spadek wodoprzepuszczalności przydennej warstwy gruntu. Celowe jest więc prowadzenie dalszych badań, nad określeniem szybkości i zasięgu kolmatacji dna basenów oraz wpływu tych procesów na wodochłonność basenów infiltracyjnych.
5. Najistotniejszym czynnikiem, decydującym o wydajności basenów infiltracyjnych, po zakolmatowaniu gruntu jest niewielka wodoprzepuszczalność błony mechaniczno-biologicznej nagromadzonej na dnie basenów.
6. W celu zachowania prawidłowych parametrów pracy basenów infiltracyjnych, niezbędne jest zastosowanie właściwej i w odpowiednim czasie przeprowadzonej metody usuwania warstwy osadu oraz dekolmatacji przydennej warstwy gruntu.
7. Konieczne jest także uwzględnianie wpływu kolmatacji i wytworzenia warstwy osadu przy prognozowaniu wydajności i projektowaniu infiltracyjnych ujęć wody.

1. T. V. BURČAK: Infiltracionnyje bassejny. Budivelnik, Kijev 1978.
2. B. GIEDROJC: Gleboznawstwo melioracyjne z podstawami torfoznawstwa. Wrocław 1972.
3. V. M. GRIGORIEV: O vlijanii zailenija rečnych rusel na proizvoditelnost beregovych infiltracionnyh vodozaborov. Vodosp. i Sanit. Technika nr 5, 1969.
4. E. LATAWIEC i inni: Budowa poddenych ujęć wody za pomocą studni z drenami poziomymi. GWTS nr 3, 1973.
5. E. Wł. MIELCARZEWICZ: Wstępne badania osadów dennych rz. Oławy. Zesz. Naukowe Pol. Wrocław. nr 113, Wrocław, 1965.
6. E. Wł. MIELCARZEWICZ: O czynnikach, określających warunki pracy i wydajność ujęcia promieniowego. Prace Nauk. Inst. Inż. Sanit. i Wodnej Nr 9, Wrocław, 1971.
7. E. Wł. MIELCARZEWICZ: Obliczenia systemów zaopatrzenia w wodę. Arkady, Warszawa 1977.
8. 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, Wrocław, 1981.
9. N. A. PLOTNIKOV, K. J. SYČEV: Ocenka eksploatacionnyh zasopov podziemnyh vod z iskustviennym ich vospolnieniem. Wyd. Niedra, Moskva. 1976.
10. A. F. PORIADIN: Kolejne etapy pracy infiltracyjnych ujęć wody i ich związek z kolmatacją gruntu. Stroitelstvo i Architektura nr 2, 1971.
11. V. E. SERGUTIN, B. F. TURUTIN: Eksperimentalnoe issledovanie na modeli infiltracionnogo vodozabora. Vodosp. i Sanit. Technika, nr 5, 1965.
12. V. E. SERGUTIN, B. F. TURUTIN: Issledovanie kolmatacii infiltracionnogo vodozabora. Vodosp. i Sanit. Technika, nr 6, 1966.
13. V. E. SERGUTIN, A. F. PORIADIN: Infiltracionnyje vodozabori na reke Jenisej. Vodosp. i Sanit. Technika, nr 5, 1970.