

Marian Błażejowski

## EKSPLLOATACJA STAWÓW INFILTRACYJNYCH ZASILANYCH SILNIE ZANIECZYSZCZONĄ WODĄ POWIERZCHNIOWĄ

Zasilanie stawów infiltracyjnych silnie zanieczyszczoną wodą powierzchniową przyczynia się do szybkiego kolmatowania ich dna, czego konsekwencją jest zmniejszenie wydajności ujęcia. Szybka kolmatacja dna stawów jest między innymi efektem sedymentacji i odfiltrowywania zawieszin wprowadzanych wraz z wodą powierzchniową. Prócz zawieszin mineralnych oraz detrytusów wnoszonego z wodą rzeczną, poważny udział w tworzeniu osadów ma martwy plankton, szczególnie w przypadkach jego masowych zakwitów w stawach. Zakwity fitoplanktonu można zwalczać stosując algicydy, lecz środki te niekiedy okazują się mało skuteczne lub nawet szkodliwe. Obok zagrożenia możliwością przenikania środków glonobójczych (głównie miedzi) do wód gruntowych) gwałtowne zlikwidowanie dużej ilości mikroorganizmów i odłożenie się ich na dnie stawów może doprowadzić do długotrwałego deficytu tlenu w infiltrującej wodzie, czego wynikiem może być w poważnym stopniu zahamowanie w gruncie procesów biodegradacji [1]. Konsekwencją silnego rozwoju fito- i nanoplanktonu jest masowe pojawianie się zooplanktonu (np. na ujęciu w Dębinie w Poznaniu, głównie skorupiaków z rodzaju *Daphnia* i *Cyklops*, których chitynowe skorupki tworzyły na dnie stawów warstwę bardzo utrudniającą infiltrację) [2]. Duża zawartość substancji organicznych w osadzie przyczynia się do zasiedlenia go przez bakterie i grzyby. Ich obecność nadaje osadowi charakter błony biologicznej tworzącej się na powierzchni filtrów powolnych [3], a jej intensywny rozwój wpływa dodatkowo na zmniejszenie filtracyjności dna stawu. Konsekwencją silnego zanieczyszczenia wody wprowadzanej na stawy jest szybkie obniżanie się w niej stężenia tlenu rozpuszczonego. Zjawisko to może być częściowo eliminowane przez rozwijający się licznie fitoplankton. Intensywny proces fotosyntezy w ciągu dnia prowadzi do wzrostu stężenia tlenu, przekraczającego niekiedy nawet kilkakrotnie stan nasycenia w wodzie, ale w nocy w wyniku oddychania spowodować może jego głęboki deficyt [4, 5]. W przypadku masowego pojawiania się zooplanktonu, stymulującego niekorzystnie

rozwój fitoplanktonu, zjawisko nasycenia wody tlenem w dzień może ulec zahamowaniu, czego efektem będzie deficyt tlenu w wodzie przez całą dobę [6]. Niewystarczające stężenie tlenu w stawach przyczyniać się będzie do postępującego zanieczyszczenia gruntu pod ich dnem oraz pogorszenia jakości wody infiltrowanej [6]. Podobny wpływ wywierać będzie wysokie stężenie w wodzie substancji refrakcyjnych, wprowadzanych do niej ze ściekami przemysłowymi [7]. W przypadku zanieczyszczeń łatwo ulegających biodegradacji, kumulujących się w gruncie w konsekwencji deficytu tlenu w wodzie, ich eliminacja zachodzi wystarczająco szybko i efektywnie podczas okresowego czyszczenia stawów, co zapewnia autoregenerację własności sorpcyjnych gruntu. Osuszenie stawów i dopływ tlenu w głąb gruntu pod jego dnem nie wywiera natomiast istotnego wpływu na zawartość odłożonych w nim substancji refrakcyjnych. Ich stężenie w miarę eksploatacji stawów stale rośnie, czego efektem jest również pogorszenie jakości wody infiltrowanej [7]. Dla zapobiegania tym niekorzystnym zjawiskom konieczne jest więc wstępne uzdatnianie wody powierzchniowej przed jej wprowadzeniem na stawy.

Można stosować prefiltrację dla pozabawienia wody zanieczyszczeń mechanicznych, co zmniejszy tempo kolmatacji dna stawów, ale nie wpłynie znacząco na obniżenie stężenia substancji biogenych, decydujących o zakwitach planktonu oraz procesach biodegradacji zachodzących w gruncie. Zastosowanie mikrosit może przyczynić się do eliminacji z wody doprowadzanej do stawów od 60 do 80% zawartości planktonu [7], ale nie uchroni ich przed powtórными zakwitami. Odrębną rolę spełniać będzie wstępne uzdatnianie zanieczyszczonej wody powierzchniowej, polegające na koagulacji i sedymentacji, filtracji pospiesznej oraz adsorpcji na węglu aktywnym, niekiedy połączony nawet z ozonowaniem. W układzie tym uzdatnianie końcowe wody przez infiltrację ma na celu wyłącznie tylko wyrównanie temperatury i nadanie jej cech wody gruntowej [7]. Alternatywą kosztownych procesów wstępnego uzdatniania zanieczyszczonych wód powierzchniowych może być, w pewnych przypadkach, zmiana sposobu eksploatacji stawów infiltracyjnych.

Dr hab. M. Błażejowski, Instytut Kształtowania Środowiska,  
ul. Drzymały 24, 60-613 Poznań

## Koncepcja eksploatacji stawów infiltracyjnych

Silnie zanieczyszczona woda powierzchniowa przed stawami infiltracyjnymi przepływać powinna przez płytko zalany teren, porośnięty roślinnością hydrofilną. Stawy z kolei zasiedlone powinny być odpowiednią obsadą wybranych gatunków ryb. Konieczna będzie również zmiana czyszczenia stawów i co 2—3 lata wyłączenie ich z normalnej eksploatacji na okres około 2 miesięcy.

Oczyszczanie ścieków na płytko zalewanych, naturalnych lub sztucznych terenach bagiennych stosowane jest już od dawna. Mimo że metoda ta nie jest jeszcze szeroko wykorzystywana w skali technicznej, to uzyskiwane korzystne efekty wskazują na celowość zastosowania jej do wstępnego uzdatniania silnie zanieczyszczonych wód przed ich wprowadzeniem na stawy infiltracyjne. Wymaga ona nisko położonych terenów nasyconych wodą, częściowo lub sporadycznie zalanych wodą stagnującą. Jako optymalną, przyjmuje się głębokość zalewania około 0,3 m lub nieco większą, co zabezpiecza teren przed zarastaniem chwastami oraz rozmywaniem podczas gwałtownych opadów. Oczyszczanie na terenach zalewanych zachodzi w efekcie procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych, przebiegających w warstwie wody, w górnej warstwie gleby zalanej wodą oraz przestrzeni pomiędzy powierzchnią gleby a wodą. Większość przemian biochemicznych zachodzi na lub w pobliżu powierzchni granicznej, pomiędzy wodą a fazą stałą, na której rozwijają się bakterie i inne mikroorganizmy [8]. W związku z tym zrozumiałą staje się ważna obecność roślinności wynurzanej, martwej materii organicznej oraz substancji humusowych. Rozkład obumarłej materii pochodzącej z części roślin ma zasadnicze znaczenie dla efektywności oczyszczania wody na terenach zalewowych. Powstające substancje humusowe adsorbują metale z wody, a tworząc aglomeraty z cząstkami ilastymi przyczyniają się do ich unieruchomienia. Martwe komórki roślin mogą również ulegać całkowitej mineralizacji i stanowią wtedy źródło wtórnego zanieczyszczenia przepływającej wody. Zhumifikowane resztki roślin stanowią podłoże, na którym adsorbują się i rozwijają bakterie oraz inne mikroorganizmy. Niewielka głębokość wody przyczynia się do utrzymywania w niej warunków aerobowych, ułatwiających biodegradację, która może być dodatkowo przyspieszona przez reakcje fotochemiczne, zachodzące pod wpływem promieni słonecznych. Płytko warstwa wody oraz ciemne dno zapewniają szybkie nagrzewanie wody, co przyspiesza procesy biodegradacji wczesną wiosną i późną jesienią, gdy ujmowana woda powierzchniowa ma normalnie niską temperaturę. Kinetyka usuwania zanieczyszczeń podczas przepływu wody przez płytko zalany teren odpowiada reakcji pierwszego rzędu, której równanie dobrze określa efektywność eliminacji z wody substancji organicznych (przedstawionych jako ChZT,

BZT<sub>5</sub> lub OWO), mikroorganizmów, niektórych mikrozanieczyszczeń organicznych oraz metali ciężkich. Efektywność oczyszczania zależy od temperatury i spada przeszło dwukrotnie w warunkach zimowych [8]. Zjawisko to prawdopodobnie wpływa w mniejszym stopniu na eliminację metali ciężkich, które są usuwane z wody częściowo przez adsorpcję na resztkach roślin. Zjawisko obumierania roślin nie ma większego wpływu na efektywność procesu, z wyjątkiem przypadków zmiany struktury fizycznej roślin, spełniających rolę nośnikową dla mikroorganizmów, odpowiedzialnych za procesy oczyszczania [8].

Procesy biochemiczne przyczyniają się również do eliminacji z wody związków azotowych, ale przebieg reakcji zależy od temperatury wody, stężenia tlenu rozpuszczonego oraz struktury podłoża. W warstwie wody zachodzi głównie nityfikacja, a część powstających azotanów przyswajają rośliny. W warstwie przydennej niskie stężenie tlenu umożliwia denityfikację. Poważną rolę w eliminacji związków azotowych odgrywają również korzenie roślin, które w niektórych przypadkach mogą je również uwalniać do wody. Fosfor usuwany jest z wody głównie w okresie wegetacyjnym i magazynowany jest w korzeniach roślin. Część fosforanów ulega eliminacji w efekcie sedymentacji w postaci zawiesin. W okresie poza-wegetacyjnym skumulowany w powyższy sposób fosfor jest często zawracany do wody.

Ważną rolę w projektowaniu, a później eksploatacji terenów zalewanych odgrywa wybór roślin i organizmów zwierzęcych, które decydują o efektywności oczyszczania. Naturalne tereny zalane, takie jak np. bagna lub torfowiska, zasiedlone są normalnie rozwijającymi się na nich organizmami. Na terenach sztucznych wybór roślin i zwierząt zależy będzie od ich zdolności do usuwania lub udziału w usuwaniu zanieczyszczeń. Uważa się, że najlepsze efekty zapewniać powinny organizmy występujące w danym regionie np. turzyce, oczeret i trzcina [8]. Rośliny należy posadzić co najmniej na 6—12 miesięcy przed planowaną eksploatacją terenu w celu ich odpowiedniego rozrośnięcia się.

Wielkość terenów do zalania uzależniona jest od założonych efektów oczyszczania oraz od warunków klimatycznych i hydrobiologicznych. Najmniejsze obciążenie od 0,8 do 8 cm/d stosuje się na sztucznie wytworzonych terenach bagiennych porośniętych trzcina i sitowiem o dowolnym przepływie wody. Czas zatrzymania wody przy głębokości warstwy od 0,15 do 0,6 m wynosić może od 8 do 20 dób. Podobne obciążenie do 8 cm/d przewiduje się dla rowów zasiedlonych trzcina i sitowiem o tłokowym przepływie wody, głębokości od 0,3 do 0,5 m i czasie zatrzymania od 6 do 15 dób. Najwyższe obciążenia od 20 do 60 cm/d można stosować w rowach wyłożonych warstwą nieprzepuszczalną i obsadzonych roślinami, w których woda przepływa tłokowo, a czas zatrzymania wynosi od 4 do 20 godzin [8]. Podsumowując można przyjąć, że po przepłynięciu wody np. przez system rowów porośniętych trzci-

ną i sitowiem zostaną usunięte z niej w większości zanieczyszczenia występujące w formie zawieszin, w tym również zawiesziny z zaadsorbowanymi na nich metalami ciężkimi, martwe organizmy planktonowe oraz część zanieczyszczeń rozpuszczonych. W wyniku dobrego natlenienia i podwyższonej temperatury wody, częściowej eliminacji ulegną rozpuszczone substancje organiczne, czemu odpowiadać będzie obniżenie wskaźników BZT<sub>5</sub> i ChZT, a azot występować będzie w postaci azotanów.

Wstępnie oczyszczona na opisanych powyżej terenach zalewowych woda wprowadzana byłaby następnie na stawy infiltracyjne, a niewielkie stężenie zawieszin przyczyniałoby się do zmniejszenia kolmatacji ich dna. Pozostała w wodzie zawartość substancji biogenych powodować jednak będzie zakwity fitoplanktonu w stawach. Prawdopodobnie pojawi się również obficie zooplankton. Dla ograniczenia wpływu tych organizmów, na tworzenie się osadów a jednocześnie zwiększenia efektywności usuwania przez nie z wody zanieczyszczeń organicznych można wprowadzić do stawów ryby. Zasiedlenie jednego ze stawów infiltracyjnych w Dębinie w Poznaniu 2-letnim krocziem karpia, w obsadzie około 600 szt/ha, przyczyniło się w porównaniu ze stawem kontrolnym do zmniejszenia o około 40% objętości odłożonego osadu oraz zapewniło jego lepszą filtracyjność o 10–50% [6]. Godnym podkreślenia jest fakt, że korzystny wpływ ryb na filtracyjność osadu zwiększał się w miarę przedłużania eksploatacji stawu i był największy jesienią. Osad w stawie zasiedlonym rybami był bardziej zmineralizowany i charakteryzował się stratami prażenia oraz ChZT, niższymi odpowiednio o 20% i 30% od osadu w stawie bez ryb [6]. Otrzymane rezultaty były niewątpliwie efektem wyżerania przez karpie zooplanktonu, głównie skorupiaków *Daphnia* i *Cyklops*. Wiadomo bowiem, że na przyrost wagi ciała o 1 kg karp zjada do 25 kg organizmów wodnych [9], co po uwzględnieniu przyrostu wagi ryb wprowadzonych do stawu, wynoszącego około 700–800 kg/ha wskazuje, że w okresie eksploatacji badanego stawu ryby usunęły z wody około 20 000 kg substancji biogenych, zakumulowanych w zjedzonych organizmach. We wcześniejszych badaniach przeprowadzonych na tym samym ujęciu w Poznaniu, dodatkowym efektem obecności karpia w stawie było zwiększenie stężenia tlenu rozpuszczonego w wodzie, które okresowo przekraczało o 150% stan nasylenia. Zjawisko to związane było prawdopodobnie ze stymulującym działaniem ryb na intensywny rozwój zielenic [10]. Spodziewając się korzystniejszych rezultatów powtórzono badania na tym samym stawie infiltracyjnym w Poznaniu, do którego wprowadzono wielogatunkową i większą od stosowanej dotychczas obsadę ryb [6]. Staw zasiedlono 42 kg krocziem tołpygi pstrej, 32 kg krocziem tołpygi białej, 50 kg krocziem karpia, 2 kg krocziem amura, 20 kg narybku lina i po 2 kg narybku karpia oraz karasia zwyczajnego. W celu zwiększenia efektu wzruszania dna wprowadzono do stawów 520 szt. raków amerykańskich. Mimo wyjątko-

wo niekorzystnych warunków hydrologicznych tj. niskiego stanu wody w Warcie i związanego z tym jej wysokiego zanieczyszczenia oraz wysokiej temperatury wody w stawach i występujących latem deficytów tlenu, otrzymano rezultaty potwierdzające wyniki wcześniejszych badań. Począwszy od lipca, filtracyjność stawu z obsadą ryb była wyższa o około 50% od filtracyjności stawu bez ryb. Różnica ta pod koniec października, bezpośrednio przed oczyszczeniem stawów, wynosiła 150%. Wyższa filtracyjność stawu z rybami była prawdopodobnie efektem znacznie mniejszej ilości osadu odłożonego na jego dnie. Objętość osadu w stawie z rybami była o około 65% mniejsza od objętości zmierzonej w stawie bez ryb.

Obecność ryb przyczyniała się również do zmiany składu organizmów wodnych. W stawie bez ryb było znacznie mniej fitoplanktonu i wzrosła liczba zooplanktonu. Wysokie stężenie substancji organicznych w wodzie Warty, wprowadzanej na stawy przyczyniło się do szybkiego spadku stężenia rozpuszczonego w niej tlenu. W konsekwencji tego, od lipca do września stężenia tlenu w obydwu porównywanych stawach były niższe od 2 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, a niska efektywność fotosyntezy nie przekraczająca 2 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> nie mogła tego deficytu zmniejszyć. Deficyt tlenu oraz silne zanieczyszczenie wody wprowadzanej na stawy przyczyniło się do pogorszenia jakości wody infiltrowanej [6].

Biorąc powyższe pod uwagę można stwierdzić, że zasiedlenie stawów infiltracyjnych rybami (najlepiej kilkoma gatunkami w odpowiednio dużej obsadzie) przyczynia się do zwiększenia filtracyjności stawów, szczególnie w drugiej połowie lata oraz jesienią. Konsekwencją obecności ryb jest również zmniejszenie objętości osadu odłożonego na dnie stawów. Te korzystne zmiany własności oraz ilości osadów nie wpływają na jakość ujmowanej wody infiltrowanej. Zasiedlenie stawów rybami nie wyeliminuje jednak konieczności dwukrotnego oczyszczenia ich w przeciągu roku (tj. wiosną i jesienią). Mimo wstępnego oczyszczania wody na terenach zalewanych oraz wprowadzenia ryb do stawów infiltracyjnych, w przypadku wykorzystywania silnie zanieczyszczonych wód powierzchniowych, można spodziewać się postępującego zanieczyszczenia gruntu pod dnem stawów i w konsekwencji pogorszenia jakości wody infiltrowanej.

## Regeneracja gruntu pod dnem stawu

Biodegradacja wielu zanieczyszczeń przemysłowych, wprowadzanych z wodą powierzchniową zachodzi bardzo wolno, szczególnie w przypadku niskiego stężenia tlenu w wodzie. Krótki okres czyszczenia stawów, pozwalający na dostęp tlenu z powietrza do głębszych warstw gruntu pod ich dnem jest prawdopodobnie niewystarczający dla biodegradacji części substancji wprowadzanych wraz z wodą powierzchniową.

Dla wyjaśnienia przebiegu procesów autoregeneracji gruntu pod dnem stawów przeprowadzono badania na modelach fizycznych z próbkami, pobranymi z wybranego stawu infiltracyjnego w Krakowie, na którym stwierdzono przesuwanie się frontu zanieczyszczeń w głąb, zgodnie z kierunkiem przepływu wody [7]. Przebadano zmiany stężenia substancji organicznych określanych jako ChZT oraz  $N_{org}$  w czasie, w przekroju pionowym modeli w przypadku pozostawienia gruntu w stanie suchym, z symulowanymi opadami deszczu około 75 mm/miesiąc oraz alternatywnie, zalewanych wodą w ilości 100 mm/d [11].

Okazało się, że w gruncie pozostawionym w stanie suchym, po około 6 tygodniach nastąpiła biodegradacja substancji organicznych, czemu odpowiadało istotne obniżenie ChZT ale nie uległo zmianie stężenie  $N_{org}$ . Okresowe zalewanie wodą przyczyniło się do zwiększenia intensywności biodegradacji w gruncie, co spowodowało obniżenie ChZT jak również  $N_{org}$ . Ładunek wyeliminowanych substancji organicznych w przeliczeniu na ChZT okazał się o około 50% wyższy od ładunku, który uległ eliminacji w gruncie suchym.

Biodegradacja substancji organicznych odłożonych w gruncie nie wpływa w sposób istotny na jakość wody po infiltracji przez zalewane modele. W wodzie infiltrowanej (w stosunku do wody, którą zalewano modele) nieznacznie podwyższeniu uległo stężenie  $N_{ogól}$  ale nie przekraczało ono 3 mg  $N_{ogól}/dm^3$ . Intensywna biodegradacja w warunkach laboratoryjnych w temperaturze 293 K kończyła się po około 6 tygodniach, lecz później (szczególnie w gruncie suchym) zachodziła jeszcze z małą intensywnością przez dalsze 60 dni. W warunkach naturalnych proces ten będzie zachodził prawdopodobnie mniej intensywnie i głównie przy dostatecznie wysokiej temperaturze gruntu. Jak wykazały badania [7], w polskich warunkach klimatycznych grunt pod dnem stawów infiltracyjnych w sierpniu nagrzany jest do około 293 K, a w listopadzie na głębokości od 50 do 200 cm utrzymuje się jeszcze temperatura o kilka stopni niższa.

W związku z tym, regenerację własności sorpcyjnych gruntu w warunkach naturalnych należy przeprowadzać na przełomie lata i jesieni, ale nie później niż w październiku, tak aby zakończyć całość operacji przed przymrozkami. Ponieważ równomierne zalewanie stawów 10 cm warstwą wody może okazać się trudne do zrealizowania, można zastosować rozdeszczanie

wody na całej ich powierzchni. Prawdopodobnie wystarczy 2—3 krotnie na tydzień rozdeszczanie wody po 10 cm/d.

## Wnioski

1. Przedstawione rezultaty badań pozwalają sądzić, że korzystne efekty proponowanych naturalnych metod oczyszczania wody i gruntu, połączonych w jednym procesie technologicznym winny się sumować. Sprawi to, że w pewnych przypadkach mogą one stanowić alternatywę głębokiego wstępnego uzdatniania silnie zanieczyszczonych wód powierzchniowych przed wprowadzeniem ich na stawy infiltracyjne.
2. Oceniając koszty poniesione na regenerację własności sorpcyjnych gruntu należy wziąć pod uwagę fakt, że woda z regenerowanych stawów zasili zasoby ujmowanej wody infiltrowanej.

## LITERATURA

1. V. MORAVCOVA: Omezování nadmerneho rozvoje rás. Sorbonik Prednasek Celostátní Konference — Umelá Infiltrace, Praha 1969.
2. J. JASKOWSKI: Wpływ biocenozy na działanie stawów infiltracyjnych na ujściu w Dębnie — maszynopis, IGK, Poznań 1969.
3. W. FRANK, K. SCHMIDT: Biologische Studien zur Weiterentwicklung der Künstlichen Grundwasseranreicherung „Das Gas und Wasserfach“ 1965, 20, 5, s. 565—569.
4. S. SPANDOWSKA: Zmiany składu flory bakteryjnej w wodzie infiltrującej przez grunt piaszczysty, na przykładzie ujścia infiltracyjnego dla m. Poznania. Dysertacja doktorska, Wrocław 1970.
5. W. HUISMAN, W. J. van HAAREN: Treatment of water before infiltration and modification of its quality during its passage underground. IWSA, VII Congress Barcelona 1966, vol. I Gen. Rep. a Pap. on Spee. Subj. 3.
6. J. JASKOWSKI: Intensyfikacja działania stawów infiltracyjnych w wyniku zmian ich ekosystemu. „Człowiek i środowisko” Warszawa (w druku).
7. M. BŁĄŻEJEWSKI: Sztuczna infiltracja w uzdatnianiu wód powierzchniowych. IKS Warszawa 1982.
8. G. TCHOBANOGLOUS, G. L. CULP: Wetland Systems for Wastewater Treatment. An Engineering Assessment USAPA Office of Water Program Operation Municipal Construction Division Washington, D. C. 1980.
9. J. JASKOWSKI, P. ANDRZEJEWSKI: Rola ryb w procesie sztucznej infiltracji, maszynopis IKS, Warszawa 1982.
10. J. JASKOWSKI: Wpływ biocenozy na działanie stawów infiltracyjnych ujścia w Poznaniu, maszynopis, IGK, Poznań 1966.
11. M. BŁĄŻEJEWSKI, U. RACZYK-STANISŁAWIAK: Możliwości przypieszenia autoregeneracji własności sorpcyjnych gruntu podczas czyszczenia stawu infiltracyjnego, Inf. Biul. po wodnomu chozjajstwu, Moskwa (w druku).

M. Błażejowski

### On the operation of infiltration ponds fed with highly polluted surface water

Before entering the infiltration ponds, the surface water should be subject to pre-treatment in a shallow flooded area covered with vascular plants. The ecosystem of the pond may then contribute to the abatement of pollution from organic substances, micro-

pollutants, heavy metals, nitrogen compounds and phosphorus compounds. The infiltration ponds fed with surface water pre-treated via the above route should be stocked with fish organisms stimulating plankton growth, abating the amounts of sediments produced and increasing the filterability of these sediments. Discussed are natural treatment methods for water and soil. In some instances, these methods may be considered alternative to the pretreatment procedure prior to passage to the infiltration ponds.