

PROCES OSADZANIA CZĄSTEK STAŁYCH W STAWACH RYBNYCH ORAZ WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNE OSADÓW

Marek Madeyski

Akademia Rolnicza Kraków

Streszczenie. Proces osadzania cząstek stałych w stawach rybnych nie był dotychczas szerzej badany. Większość autorów badała namuły pochodzące ze zbiorników wodnych i jezior oraz z zapór przeciwrumowiskowych. Namuły te jednak różnią się od namułów stawowych w sposób dość znaczny. W pracy przedstawiono wyniki badań cech chemicznych (zwłaszcza zawartość metali ciężkich, co może wskazywać na sposób ich rolniczego wykorzystania), a także procesu osadzania osadów dennych w sześciu wybranych stawach rybnych, o zróżnicowanych cechach fizjograficznych zlewni rzek zasilających te stawy. Wykazano, że proces osadzania we wszystkich badanych sześciu stawach ma podobny przebieg z wyraźnie widocznymi charakterystycznymi fazami osadzania, a zawartość metali ciężkich w osadach nie jest szkodliwa i dlatego osady można wykorzystać rolniczo.

Słowa kluczowe: stawy rybne, sedymentacja, właściwości chemiczne osadów

WSTĘP

Stawy rybne są specyficznym rodzajem małych zbiorników wodnych. Wyróżnia je przede wszystkim funkcja, jaką spełniają, oraz sposób przepływu wody. Osady ze stawów rybnych są produktem sedymentacji fitoplanktonu i zooplanktonu oraz cząstek rumowiska unoszonego, doprowadzonego wraz z wodą rzeczna do stawów. Zawartość części organicznych w osadach stawowych jest z reguły większa niż w namulach zbiorników zaporowych. Cechy osadów dennych zależą również od warunków eksploatacji stawów rybnych, między innymi od okresów napełnienia i opróżniania stawów w ciągu roku, rodzaju obsady (przesadka, narybek, kroczek, handlówka), sposobu karmienia itp.

Charakterystyka procesu zamulania stawów rybnych nie była dotychczas w literaturze przeprowadzona w sposób kompleksowy. Analizowano głównie potrzeby wodne stawów rybnych, jakość wody w stawach [Oporowska 1976, Szymański 1990, Drabiński 1992], stosunki wodne terenów przyległych [Marcilonek i in. 1990] oraz przepuszczalność gleb

podłoża stawów [Muratowa 1993]. Dąbkowski i inni [1982] zalecają, aby przebieg замуłania małych zbiorników zaporowych oraz stawów oceniać na podstawie metodyki opartej na znajomości średniej rocznej objętości dopływającej wody, jej średniego zmaczenia oraz średniej pojemności zbiornika.

Jedną z pierwszych prac, dotyczących tworzenia się osadów dennych w stawach rybnych, była praca Bombówny [1956], która analizowała ilości gromadzącego się na dnie osadu w stawach nawożonych i nienawożonych. Autorka oznaczała procentową zawartość części organicznych, a także zawartość tlenu rozpuszczonego i odczyn wody w stawach.

W późniejszych latach pojawiły się prace dotyczące właściwości fizycznych i chemicznych gleb dna stawowego [Wróbel 1965, Stangenberg-Oporowska i Solski 1975]. Osobno wspomnieć należy prace Giedrojcia i Kaszupkiewicza [1990], oraz Giedrojcia i innych [1992], przeprowadzone na terenie kompleksu stawów rybnych Milicz – Grabownica – Potasznica na Dolnym Śląsku. Głównym celem badań przedstawionych w tych pracach było ustalenie niektórych procesów oraz właściwości gleb dna różnie użytkowanych stawów rybnych.

Brak jest natomiast prac, które dotyczyłyby struktury i warunków sedymentacji osadów dennych w stawach rybnych. W opisie warunków sedymentacji osadów stawowych potrzebna jest znajomość również reologicznych parametrów przy różnych koncentracjach składnika stałego, o czym pisali Parzonka [1966] i Madeyski [1998]. Poznanie bowiem tych parametrów jest niezbędne do oceny możliwości usunięcia namulów z dna stawów za pomocą instalacji pompowo-rurowej. Charakterystyka osadów dennych potrzebna jest również do oceny warunków sedymentacji i zagęszczania warstwy osadu dennego cząstek stałych, by móc właściwie zwymiarować osadniki mogące służyć ewentualnie do oddzielania cząstek stałych od cieczy. Przyczynić się to może do wydłużenia żywotności i zmniejszenia procesu замуłania stawów rybnych.

Dlatego głównym celem podjętych badań było precyzyjne określenie przebiegu procesu sedymentacji osadów dennych pobranych z dna stawów, sprawdzenie hipotezy badawczej, mówiącej, że istnieją charakterystyczne fazy osadzania, oraz zbadanie właściwości chemicznych osadów stawowych (zwłaszcza obecności metali ciężkich), które świadczyć mogą o możliwości ich rolniczego wykorzystania.

Charakterystyka procesu osadzania cząstek stałych w stawach rybnych

Proces osadzania cząstek stałych w stawach rybnych nie był dotychczas szerzej badany. Większość autorów badała namuły pochodzące ze zbiorników zaporowych i jezior [Graf 1983, Parzonka i Kempniński 1991] oraz zapór przeciwrumowiskowych [Ratomski 1991]. Namuły te jednak różnią się od namulów stawowych w sposób dość znaczny [Parzonka 1974, 1986, Giedrojć i Kaszupkiewicz 1990, Bednarczyk i Madeyski 1992].

Na podstawie prowadzonych przez Parzonkę i Kempnińskiego [1991] badań sedymentacyjnych osadów z jeziora Jamno koło Koszalina wnioskować można, że osadzanie namulów organicznych odbywa się w sposób powolny, co może być spowodowane małą gęstością cząstek stałych, znaczną zawartością cząstek organicznych i dużą pojemnością wodną tych substancji.

Koncentracje końcowe cząstek stałych w wierzchniej warstwie osadowej w kalibrowanej kolumnie sedymentacyjnej po upływie ponad pięciomiesięcznych obserwacji były, według cytowanych wyżej autorów, znacznie niższe od koncentracji odpowiadających granicy płynności Atterberga (T_{sLL}) [Parzonka i Kempański 1991]. Świadczy to, ich zdaniem, o tym, że wierzchnie warstwy osadów jeziorowych zagęszczają się powoli i mają konsystencję płynną.

Autorzy ci wnioskują, że na skutek procesu zagęszczania warstwy osadów z upływem czasu następuje stopniowy wzrost koncentracji cząstek stałych w funkcji czasu zagęszczania. Tuż po osadzeniu wierzchnia warstwa osadów ma niską koncentrację, odpowiadającą newtonowskiemu zachowaniu się mieszaniny lub zachowaniu słabonienewtonowskiemu. Niżej leżące warstwy są znacznie bardziej zagęszczone wskutek konsolidacji gruntu następującej pod ciężarem wyżej leżących warstw oraz słupa wody w zbiorniku i charakteryzują się wyraźnie rozwiniętymi cechami nienewtonowskimi. Dalszy wzrost koncentracji powoduje przejście z konsystencji płynnej do konsystencji ciała stałego.

Badania sedymentacyjne osadów jeziorowych umożliwiają wyznaczenie charakterystycznego czasu odpowiadającego przejściu z newtonowskiego do nienewtonowskiego zachowania się mieszaniny (t_{lim}) oraz przejścia z reżimu erozji łatwej do trudnej. Daje to możliwość określenia warunków erozji hydraulicznej namulów jeziorowych.

Mieszaniny jednorodne złożone z wody i drobnoziarnistych cząstek stałych zachowują się, powyżej pewnej granicznej objętościowej koncentracji składnika stałego (C_{VLim}), jak ciecz nienewtonowska, mająca właściwości ciała plastyczno-lepkiego. Przy niskiej koncentracji mieszaniny tego samego gruntu z wodą mają własności cieczy newtonowskiej.

Według Parzonki [1966], należy odróżnić mieszaniny jednorodne, zachowujące się jak substancja homogeniczna, od mieszanin niejednorodnych (dwufazowych), takich jak piasek-woda, żwir-woda, których składniki nie mieszają się między sobą i w których ośrodek płynny zachowuje własną lepkość. Z drugiej strony, definicja mieszanin jednorodnych nie może mieć zastosowania w przypadku zawieszin rzeczywistych zawierających ziarna prekoloidalne i koloidalne o średnicy mniejszej od 2μ . W wielu pracach udowodniono [Métrot 1954, Gilbert 1960], że rodzaj mieszaniny zależy przede wszystkim od koncentracji ziaren, ich ciężaru objętościowego i kształtu. Według Gilberta [1960] i Soboty [1988], podstawową charakterystyką mieszanin powinna być prędkość opadania ziarna stałego w wodzie stojącej. Gilbert rozróżnia trzy klasy prędkości, w zależności od reżimu opadania ziarna (określone dla ziaren kulistych):

- 1) laminarną prędkość opadania ziarna, zgodną z równaniem Stokesa, wtedy liczba Reynoldsa, oparta na średnicy ziarna (Re_d), jest mniejsza od 1,0,
- 2) prędkość opadania strefy przejściowej ($1 < Re_d < 1000$),
- 3) turbulentną prędkość opadania ($Re_d > 1000$).

Mieszaniny heterogeniczne należą głównie do klas drugiej i trzeciej. Do pierwszej natomiast można teoretycznie zaliczyć wszystkie ziarna kuliste, mające $d_{50} < 100-150 \mu$ (przy gęstości właściwej $\rho_s = 2650 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), a więc drobne piaski, pyły, gliny i ły. Może to oznaczać, że ziarna gruntu mniejsze od $100-150 \mu$ mogą być unoszone w zawieszeniu już przy słabej turbulencji. Cząstki bardzo drobne (koloidalne) nie opadają nawet w stojącym roztworze – dzięki ruchom Browna. W praktyce jednak większość gruntów

ma cząstki nieregularne i jest zbudowana z ziaren niejednorodnych, opadających w różny sposób. Należy podkreślić, że stosowanie prędkości opadania pojedynczej cząstki w wodzie czystej, jako charakterystyki mieszanin rzeczywistych o dużej koncentracji, jest mało praktyczne, gdyż ziarna opadają znacznie wolniej w mieszaninie o wysokiej koncentracji niż w czystej wodzie. Dotyczy to cząstek elementarnych, a nie flokuł i agregatów.

We wcześniejszych pracach [Métrot 1954, Gilbert 1960] przyjmowano często średnicę ziaren $d = 50 \mu\text{m}$ (dla gruntów o gęstości właściwej $\rho_s \approx 2650 \text{ kG}\cdot\text{m}^{-3}$) jako granicę między mieszaninami jednorodnymi i niejednorodnymi. Autorzy tych prac uważali, że różne cząstki piasku tworzą mieszaniny niejednorodne, a wszystkie cząstki pylaste i gliniaste – mieszaniny jednorodne. Własności mieszaniny jednorodnej mają jednak często również grunty o nominalnej wielkości ziarna $d_{50} > 50 \mu\text{m}$, jeżeli zawierają istotną ilość cząstek pylastych i ilastych. Grunty naturalne mają bowiem z reguły uziarnienie niejednorodne (tj. złożone są z wielu frakcji). Poza parametrem d_{50} na własności mieszanin mają wpływ także inne czynniki, takie jak: zawartość bardzo drobnych cząstek, kształt ziarna, a przede wszystkim koncentracja składnika stałego (C_V).

Według Smołdyriewa [1961], własności mieszanin homogenicznych ma mieszanina piasku z wodą o $C_V = 0,1-0,12$, przy obecności 10–20% cząstek bardzo drobnych o średnicy $d < 20 \mu\text{m}$. Z powyższego widać, że własności mieszanin gruntów niejednorodnych zależą przede wszystkim od koncentracji cząstek stałych, od zawartości procentowej drobnych ziaren i od średniej wielkości ziarna d_{50} (por. Michalik [1973]).

Cechy chemiczne osadów w stawach rybnych

Wśród nielicznych publikacji dotyczących właściwości chemicznych osadów dennych należy wymienić prace Giedrojcia i innych [1992] oraz Stangenberga-Oporowskiej i Solskiego [1975]. Giedroć badał stawy rybne w rejonie Milicza i stwierdził, że właściwości chemiczne uwarunkowane są szeregiem czynników, przy czym za charakterystyczne należy przyjąć: sposób eksploatacji, jakość wód zasilających stawy i okresowo zmieniające się warunki anaerobowe i aerobowe. Według Stangenberga-Oporowskiej i Solskiego, na cechy chemiczne istotny wpływ mają też zmieniające się ich właściwości fizyczne.

Zasobność osadów stawowych w składniki pokarmowe przyswajalne dla roślin (potas i fosfor) była w większości stawów badanych przez wyżej wymienionych autorów niska (potas od 0,07 do 0,14%, a fosfor od śladów do 1,6%), przy czym ilość potasu była podwyższona we wszystkich wierzchnich warstwach osadów w porównaniu z głębiej leżącymi warstwami. Zawartość węgla w poziomach powierzchniowych kształtowała się w granicach 0,5–4,7%, najczęściej w przedziale 1–3,5%.

We wszystkich badanych profilach stawów milickich stosunek węgla do azotu był większy w poziomach zalegających głębiej niż na powierzchni. Jest to przypuszczalnie związane z intensywną mineralizacją materii organicznej, zachodzącą na powierzchni gleby w czasie osuszania stawu [Danielewski 1965].

Ilość żelaza całkowitego w osadach wskazuje na jego nierównomierne rozłożenie się w pionie w poszczególnych warstwach osadów i na kumulowanie tego pierwiastka głównie w warstwach powierzchniowych; jego zawartość wyraźnie maleje wraz z głębokością. Wieloletnie napełnianie stawów milickich wodą nie powodowało, według Stan-

genberg-Oporowskiej i Solskiego [1975] znacznego wzrostu w osadach pierwiastków metalicznych.

Ocena jakości chemicznej osadów jest podstawą do określenia właściwego, uwzględniającego ekologiczne funkcje, rolniczego ich wykorzystania. W Polsce istnieją normy opracowane przez Państwową Inspekcję Ochrony Środowiska [Rozporządzenie... 2002] oraz Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa [Kabata-Pendias 1995], określające graniczne zawartości metali ciężkich w glebach o różnych stopniach zanieczyszczeń i w związku z tym przydatność gleb do odpowiednich upraw. Ta ostatnia wyróżnia sześć stopni zanieczyszczenia gleb: począwszy od stopnia 0, do którego należą gleby niezanieczyszczone, o naturalnych zawartościach metali śladowych (gleby te mogą być przeznaczone pod wszystkie uprawy ogrodnicze i rolnicze, zgodnie z zasadami racjonalnego wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej), aż po stopień 5, do którego należą gleby bardzo silnie zanieczyszczone (gleby tej klasy powinny być całkowicie wyłączone z produkcji rolniczej).

Graniczne zawartości metali są uzależnione również od trzech grup gleb zależnych od zawartości części spławianych oraz od odczynu (pH) [Kabata-Pendias 1995].

OBIEKT I METODYKA BADAŃ

Obiektem badań było sześć stawów rybnych użytkowanych przez gospodarstwa rybne hodujące karpie. Stawy zasilane były z różnych rzek, o odmiennych cechach fizjograficznych zlewni, co jest przyczyną zróżnicowanych cech fizycznych zawiesin oraz cech chemicznych i reologicznych osadów stawowych.

Powierzchnia stawów wynosiła od 0,6 do 3,75 ha. Stawy zasilane były bezpośrednio z rzeki lub poprzez doprowadzalniki wodami rzeki Rudawy (staw „Dwójka” w Mydlnikach koło Krakowa), Wisły (staw „Bez nazwy” w Gołyszach w okolicach Bielska), Iłownicy (staw „Nierodek” w Grodzcu Śląskim koło Bielska-Białej) i Szreniawy (staw „Topolowy” w Pawłowicach koło Proszowic – jedyny z badanych, który zasilany jest z rzeki, bez doprowadzalnika). Pomiarami objęto również osady stawu Liplas koło Gdowa (na południe od Krakowa, około 25 km), zasilanego wodami potoku Lipnica, oraz stawu Niegowić, położonego w tej samej gminie, zasilanego wodami Potoku Królewskiego [Madeyski 2005].

Wszystkie badane stawy były zalewane wodą na przełomie marca i kwietnia, a odławiane w październiku. Przez cały ten okres woda w sposób ciągły przepływała przez staw (dla uzupełnienia strat na parowanie z powierzchni stawu, a także dla wzbogacenia wody w tlen), a wloty zamykane były jedynie w okresach wezbraniowych (celem ograniczenia nadmiernego zamulenia). W stawach (tak zwanych towarowych, zarybianych narybkiem na „handłówkę”) hodowano karpie w tym samym stadium rozwoju, a obsada i intensywność karmienia były analogiczne.

Po odłowieniu ryb i spuszczeniu wody ze stawów pobrano próbki osadów dennych w każdym stawie z trzech przekrojów (z przekroju najbliższego wlotowi wody do stawu, z przekroju środkowego i najbliższego młochowi spustowemu – pobrane próbki pochodziły z wierzchniej warstwy dna).

Dla pobranych próbek osadów określono właściwości fizyczne (skład granulometryczny, procentową zawartość części organicznych), chemiczne (obecność makroelementów, metali ciężkich i odczyn osadów – dokładny opis metodyki badań składu chemicznego podano w pracy Madeyskiego i innych [2005], oraz poddano je badaniom sedymentacyjnym.

Przebieg procesu osadzania badano w czasie ponad jednego miesiąca, to jest do praktycznego zakończenia tego procesu. Pomiary wykonano w litrowych cylindrach kalibrowanych, o średnicy 6 cm, obserwując położenie powierzchni rozdziału warstwy osadu i wody nadosadowej. Nie przeprowadzono dodatkowych badań sedymentacyjnych przy użyciu cylindrów o innych średnicach, by uchwycić ewentualne występowanie efektu skalowego. Przeprowadzone bowiem przez Parzonkę i Kempnińskiego [1991] badania procesu zagęszczania osadów jeziorowych przy użyciu cylindrów o różnych średnicach wykazały, że wpływ średnicy cylindra jest pomijalny przy średnicach większych niż 5–6 cm.

Porównanie wagowych koncentracji początkowych (T_{S0}) oraz koncentracji końcowych (T_{SK}) pozwoliło na określenie przebiegu sedymentacji osadów dennych w badanych stawach rybnych.

WYNIKI

Wyniki badań procesu osadzania dla badanych stawów przedstawiono w tabeli 1. W tabeli tej T_{S0} oznacza początkową koncentrację wagową, T_{SK} – końcową koncentrację wagową, T_{SN} – koncentrację wagową odpowiadającą wilgotności naturalnej, a T_{SLL} – koncentrację wagową odpowiadającą granicy płynności Atterberga.

Badania sedymentacyjne potwierdziły, określone wcześniej przez Migniota [1968], występowanie czterech podstawowych faz zagęszczania osadów sflokulowanych:

I faza – sedymentacja i rozdział faz na wodę nadosadową i warstwę osadu,

II faza – szybkie zagęszczanie warstwy osadu, powodujące zniszczenie flokuł i agregatów,

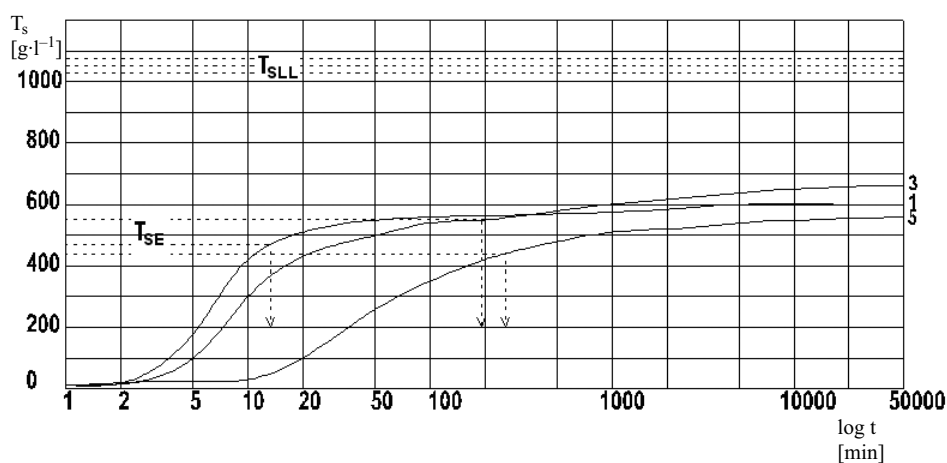
III faza – powolne zagęszczanie warstwy dennej z filtracją wody ku górze przez szczeliny i otwory („studnie”),

IV faza – powolne zagęszczanie osadu z filtracją przez równomiernie zagęszczony grunt spoisty; w tej fazie występuje prawie liniowa zależność $T_S = f(\log t)$, co pozwala na ekstrapolację tej zależności na czas dłuższy od czasu obserwacji laboratoryjnej.

Nie można było określić czasu odpowiadającego pojawieniu się granicy płynności Atterberga. Wszystkie badane próbki wykazywały wprawdzie istotny wzrost koncentracji w czasie, ale koncentracje końcowe były znacznie mniejsze od granicy płynności. Dotyczyło to zarówno warstw spodnich osadów stawowych (bliższych T_{SLL}), jak i wierzchnich, które słabiej się zagęszczały. Podobne wyniki uzyskał Parzonka [1966] dla namulów ze stawów milickich. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowo przebieg procesu osadzania dennego osadu stawu „Dwójka” w Mydlnikach w funkcji czasu: $T_S = f(\log t)$, na którym oś rzędnych przedstawia koncentrację wagową (T_S [g · l⁻¹]), a oś odciętych logarytm czasu osadzania ($\log t$ [min]). Pozostałe symbole na tym rysunku oznaczają: T_{SE} – koncentrację wagową, przy której następuje przejście z reżimu erozji łatwej do reżimu erozji trudnej, T_{SLL} – koncentrację wagową odpowiadającą granicy płynności Atterberga.

Tabela 1. Wyniki badań procesu osadzania namulów stalowych w menzurkach cechowanych
 Table 1. Results of investigations of pond deposit sedimentation in calibrated laboratory cylinders

| Nazwa stawu Name of the pond | Miejsce poboru próbki Sampling point | Nr próbki Number of sample | T_{S0} Initial weight concentration [kg·m ⁻³] | T_{SK} Final weight concentration [kg·m ⁻³] | T_{SN} Natural weight concentration [kg·m ⁻³] | T_{SLL} Atterberg weight concentration [kg·m ⁻³] |
|---------------------------------|---|-------------------------------|---|---|---|--|
| „Dwójka” | wlot – inflow | 1 | 11,20 | 600,0 | 1024 | 1055 |
| | środek – centre | 3 | 12,50 | 660,0 | 933 | 1075 |
| | wylot – outflow | 5 | 13,19 | 560,8 | 890 | 1017 |
| „Bez nazwy” | wlot – inflow | 1 | 12,01 | 480,4 | 1060 | 1097 |
| | środek – centre | 3 | 11,70 | 531,8 | 1147 | 1108 |
| | wylot – outflow | 5 | 13,19 | 775,8 | 1095 | 1108 |
| „Nierodek” | wlot – inflow | 1 | 9,73 | 630,5 | 860 | 1091 |
| | środek – centre | 3 | 9,74 | 640,1 | 1005 | 1061 |
| | wylot – outflow | 7 | 12,40 | 695,0 | 884 | 1153 |
| „Topolowy” | wlot – inflow | 1 | 10,26 | 620,9 | 894 | 1077 |
| | środek – centre | 3 | 11,43 | 646,3 | 724 | 1039 |
| | wylot – outflow | 5 | 12,53 | 676,3 | 820 | 1036 |
| „Liplas” | wlot – inflow | 1 | 10,32 | 623,1 | 994 | 1048 |
| | środek – centre | 2 | 10,98 | 632,3 | 1010 | 1053 |
| | wylot – outflow | 3 | 11,43 | 638,9 | 1000 | 1060 |
| „Niegowić” | wlot – inflow | 1 | 10,96 | 596,4 | 1033 | 1063 |
| | środek – centre | 2 | 11,14 | 637,2 | 1020 | 1070 |
| | wylot – outflow | 3 | 11,90 | 658,4 | 1050 | 1080 |



Rys. 1. Przebieg procesu osadzania osadu stawu „Dwójka” w Mydlnikach: T_S – koncentracja wagowa, t – czas, T_{SLL} – koncentracja odpowiadająca granicy Atterberga, T_{SE} – koncentracja erozyjna

Fig. 1. Course of bottom deposit sedimentation in pond “Dwójka” at Mydlniki: T_S – weight concentration, t – time, T_{SLL} – Atterberg concentration, T_{SE} – erosion concentration

Wyniki badania cech chemicznych osadów stawowych przedstawiono w tabeli 2. Z tabeli tej wynika, że osady dennie badanych stawów rybnych bogate są w makroelementy. Ich obecność jest większa w osadach stawu „Topolowego”, zasilanego bezpośrednio (bez doprowadzalnika mogącego spełniać rolę osadnika) z rzeki Szreniawy.

Podobnie większa jest ilość metali ciężkich w osadach tego stawu. W każdym z badanych osadów odczyn pH jest wyższy od 5,5; jedynie osady stawu „Topolowy” mają lekko kwaśny odczyn. Jak wynika ze szczegółowej analizy przeprowadzonej w pracy Madeyskiego [2005], ilość wykrytych metali ciężkich w osadach świadczy o zerowym stopniu zanieczyszczenia, a osady mogą być przeznaczone pod wszystkie uprawy ogrodnicze i rolnicze.

Tabela 2. Cechy chemiczne osadów dennych badanych stawów
Table 2. Chemical features of examined bottom sediments

| Nazwa stawu Name of pond | Odczyn Reaction pH | Ilość – Amount of | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------|-----------|-----------|----------------|-----------|
| | | makroelementów macroelements | | | metali ciężkich heavy metals | | | | | |
| | | P [mg·l ⁻¹] | K [mg·l ⁻¹] | Mg [mg·l ⁻¹] | Ca [mg·l ⁻¹] | Pb ppm | Zn ppm | Cu ppm | Cd ppm | Ni ppm |
| „Dwójka” | 7,2–7,9 | 100–110 | 110–130 | 250–260 | 1500– –4300 | 4,0– –5,9 | 20–22 | 7–8 | 0,21– –0,31 | 8–10 |
| „Nieródek” | 7,1–8,0 | 80–140 | 120–160 | 120–150 | 1800– –2200 | 3,9– –4,9 | 16–20 | 7–8 | 0,26– –0,33 | 9–13 |
| „Bez nazwy” | 6,9–7,9 | 80–120 | 110–150 | 150–180 | 2000– –2400 | 4,0– –5,1 | 19–23 | 6–8 | 0,26– –0,38 | 12–17 |
| „Topolowy” | 5,8–6,6 | 110–160 | 140–180 | 240–270 | 4000– –8000 | 6,9– –10 | 40–60 | 12–16 | 0,4– –0,5 | 22–26 |
| „Liplas” | 6,3–6,7 | 130–160 | 110–130 | 140–160 | 4000– –5500 | 7–8,8 | 50–60 | 14–16 | 0,4– –0,45 | 25–26 |
| „Niegowić” | 6,8–7,0 | 180–190 | 160–170 | 300–310 | 7200– –7400 | 9–9,3 | 40–50 | 14–15 | 0,4– –0,5 | 25–30 |

WNIOSKI

1. Przebieg krzywych osadzania namulów stawowych w kalibrowanych kolumnach sedymentacyjnych świadczy o podobieństwie procesu sedymentacji osadów z jeziora Jamno i osadów z dna badanych stawów rybnych. Również w przypadku badania sedymentacji osadów stawowych wyraźne są cztery fazy osadzania (osadzanie i rozdział faz na wodę nadosadową i warstwę osadu, szybkie zagęszczanie warstwy osadu, powolne zagęszczanie warstwy dennej i powolne zagęszczanie osadu). Na krzywych osadzania namulów stawowych naniesiono wartości T_{SE} (iloczyn koncentracji – C_{VE} , i gęstości właściwej – ρ_s), wskazujące czas przejścia z reżimu erozji hydraulicznej łatwej do reżimu erozji trudnej. Potwierdza to prawidłowość, że również w stawach rybnych namuły spoiste opadają na dno, tworząc osad denny o konsystencji płynnej, w którym pod wpływem osadzania i konsolidacji następuje wzrost koncentracji (II faza osadzania), powodujący zmianę lepkości i konsystencji. Zmiany te są zdecydowanie bardziej powolne niż

dla namulów rzecznych i zbiornikowych. W przypadku badanych stawów czas przejścia z reżimu erozji łatwej (w trakcie którego można usunąć osady z dna za pomocą hydrotransportu) do reżimu erozji trudnej okazał się bardzo krótki i wynosił na przykład dla wierzchnich warstw osadów zaledwie około 30 minut dla stawu „Topolowego” i nieco ponad 200 minut dla stawu „Dwójka”. Wynika z tego, że hydrauliczne usuwanie osadów stawowych nie jest możliwe, podczas gdy namuły ze zbiorników wodnych (na przykład algierskie zbiorniki zaporowe opisywane przez Parzonkę [1974, 1986]) mogłyby być usuwane tą metodą w ciągu zaledwie od kilku godzin do kilku dni po doprowadzeniu namulów do zbiornika.

2. Właściwości chemiczne osadów wykazały różnorodność w zależności od miejsca poboru próbki w stawie. Wyniki badań cech chemicznych pozwalają wnioskować, że osady denne badanych stawów rybnych bogate są w makroelementy, w części organiczne i nie zawierają szkodliwej ilości metali ciężkich. Można je więc wykorzystać rolniczo pod uprawy. Różnorodność makro- i mikroelementów w osadach dennych wykazuje zgodność ze zmiennością tych elementów w przeprowadzanych równocześnie analizach chemicznych wody doprowadzonej do stawów. I tak wody Rudawy i Szreniawy zawierają więcej wapnia ($97\text{--}100\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) niż wody Iłownicy ($60\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) i Wisły ($70\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$), a także więcej magnezu (odpowiednio $10\text{--}11$, 8 i $7\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

3. Różnorodność makro- i mikroelementów oraz zawartość metali ciężkich w osadach dennych wyraźnie zależna jest również od sposobu doprowadzenia wody do stawów. Woda dostarczana do stawów poprzez doprowadzalniki zostawia w nich część transportowanych związków chemicznych i mikroelementów.

PIŚMIENNICTWO

- Bednarczyk T., Madeyski M., 1992. Czynniki wpływające na intensywność zamulania stawów rybnych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Melioracja XL, 211, 87–100.
- Bombówna M., 1956. Tworzenie się osadów dennych w stawach rybnych. Biuletyn Zakładu Biologii Stawów PAN, Kraków, 111–126.
- Danielewski S., 1965. Mineralizacja osadów dennych w okresie zimowego osuszania stawów rybnych. Roczn. Nauk Rol. 86-B-2, 341–359.
- Dąbkowski L., Skibiński J., Żbikowski A., 1982. Hydrauliczne podstawy projektów wodno-melioracyjnych. PWRiL, Warszawa.
- Drabiński A., 1992. Wpływ stawów rybnych na odpływ ze zlewni Baryczy. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu 211, Melioracja XL, 187–206.
- Giedrojć B., Kaszupkiewicz J., 1990. Właściwości fizyczne i chemiczne niektórych gleb dna stawów rybnych w rejonie Milicza. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Melioracja XXXIV, 189, 59–69.
- Giedrojć B., Kaszupkiewicz J., Bogda A., 1992. Określenie właściwości fizycznych i chemicznych gleby dna stawowego w różnych kategoriach stawów. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Melioracja XL, 211, 117–133.
- Gilbert R., 1960. Transport hydraulique et refoulement des mixtures en conduites. Annales des Ponts et Chaussées, 3–4.
- Graf W., 1983. Hydraulics of reservoir sedimentation. Water Power and Dam Construction 38, 4, 45–52.

- Kabata-Pendias A., 1995. Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, IUNG Puławy. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Madeyski M., 1998. Hydrauliczna i reologiczna charakterystyka procesu zamulania stawów rybnych. Zesz. Nauk. AR Kraków, Rozprawy 236.
- Madeyski M., 2005. Charakterystyka osadów stawowych oraz możliwość ich rolniczego wykorzystania. Zesz. Nauk. Akademii Techn.- Humanistycznej w Bielsku-Białej 19, Inżynieria Włókiennicza i Ochrona Środowiska 6, 195–204.
- Madeyski M., Florencka N., Tarnawski M., 2005. Rozkład przestrzenny zawartości metali ciężkich w osadach dennych wybranego stawu rybnego. Zesz. Nauk. AR Kraków, Inżynieria Środowiska 26, 381–390.
- Marcilonek S., Nyc K., Kamionka S., 1990. Wstępna ocena wpływu milickich stawów rybnych na stosunki wodne terenów przyległych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Melioracja XXXIV, 189, 93–102.
- Métrot R., 1954. Recherches sur les propriétés rhéologiques des boues de forage. Paris.
- Michalik A., 1973. Badanie rozkładu koncentracji fazy stałej hydromieszczan wielofrakcyjnych w przekroju poprzecznym strumienia przy użyciu metody radiometrycznej. Praca doktorska. AGH, Kraków.
- Migniot C., 1968. Etude des propriétés physiques de différents sédiments sous des actions hydrodynamiques. La Houille Blanche 8, 591–620.
- Muratowa S., 1993. Wpływ osadów dennych na wodoprzepuszczalność dna stawu rybnego. Zesz. Nauk AR w Poznaniu CCXLIV, 89–100.
- Oporowska K., 1976. Badania nad zawartością miedzi w stawach niektórych regionów Polski. Acta Hydrobiol. 18, 2, 139–152.
- Parzonka W., 1966. Reologiczne zachowanie się jednorodnych mieszanin gruntowo-wodnych. Rozprawa habilitacyjna. IPUW, Wrocław.
- Parzonka W., 1974. Ocena zmienności własności fizycznych i reologicznych osadów ze zbiorników wodnych Sautet i Lubachów. Arch. Hydrotechn. XXI, 4.
- Parzonka W., 1986. Hydrauliczna i reologiczna charakterystyka transportu zawiesiny rzecznej o wysokiej koncentracji w obrębie kaskady zbiornikowej. Arch. Hydrotechn. XXXIII, 4, 377–396.
- Parzonka W., Kempniński J., 1991. Reologiczna ocena procesu sedimentacji i osadzania namulów jeziornych. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Melioracja XXXIX, 209, 177–187.
- Ratomski J., 1991. Sedymencja rumowiska w zbiornikach przeciwrumowiskowych na obszarze Karpat fliszowych. Politechnika Krakowska, Monografia 122.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2005 r. DzU nr 165, poz. 1359.
- Smoldyriew A.E., 1961. Ręczny rudnicznego truboprowodnego transporta. Dzieła Akademii Nauk SSSR – Inst. Gorn., Moskwa.
- Sobota J., 1988. Globalne i lokalne charakterystyki przepływu mieszaniny ciecz-cząstki stałe w rurociągu poziomym. Arch. Hydrotechniki XXXV, 1–2, 3–44.
- Stangenberg-Oporowska K., Solski A., 1975. Skład chemiczny gleb stawowych Gospodarstwa Rybackiego, P.G. Rybnego w Miliczu. Acta Hydrobiologica 17, 2, 183–199.
- Szymański J., 1990. Przedmowa. Zesz. Nauk. AR Wrocław 189, Melioracja XXXIV, 7–12.
- Wróbel S., 1965. Przyczyny i następstwa eutrofizacji stawów. Acta Hydrobiologica 7, 1, 27–52.

PROCESS OF SOLID PARTICLES SEDIMENTATION IN FISH PONDS AND CHEMICAL PROPERTIES OF BOTTOM SEDIMENTS

Abstract. The process of solid particle sedimentation in fish ponds has not been so far examined at a large scale. Many authors investigated sediments from water reservoirs and

lakes as well as those deriving from check-dams. These sediments, however, differ greatly from pond sediments. The paper presents the results of chemical property investigations (especially content of heavy metals what may indicate to the way of their agriculture utilization) as well as the process of bottom sediment deposition in six chosen fish ponds of different physiographic properties of the catchment whose rivers supply the ponds. It was shown that the sedimentation process in six ponds proceeds in a similar way with evident characteristic sedimentation phases and the heavy metal content in sediments is not harmful and can serve for agricultural purposes.

Key words: sedimentation, fish ponds, chemical properties of sediments

Zaakceptowano do druku – Accepted for prin: 2.02.2007