

POZNAN 1997

CZĘŚĆ II

19

# MELIORACJE I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA



CCXCIV

ROZCNKI  
AKADEMII ROLNICZEJ  
W POZNANIU

SADŹIDE MURAT-BŁAŻEJEWSKA<sup>1</sup>, ZBIGNIEW SROKA<sup>2</sup>

**WPLYW WARSTWY KOLMATACYJNEJ  
ORAZ OSADU DENNEGO  
NA WIELKOŚĆ PRZESIAKÓW  
ZE STAWU RYBNEGO**

*Z Katedry Melioracji i Kształtowania Środowiska<sup>1</sup>  
oraz z Katedry Mechaniki Budowli i Budownictwa Rolniczego<sup>2</sup>  
Akademii Rolniczej w Poznaniu*

**ABSTRACT:** Numerical simulations of impact of clogging layer and bed sediments on seepage rate from experimental fish pond at Stroszki (Great Poland) are presented. A decrease in mean permeability of bed layer 25 cm deep by two orders of magnitude caused twofold decrease in rate of seepage from the pond.

**Key words:** seepage, pond, clogging layer, numerical modelling

### Wstęp

Stawy rybne, będące ważnym składnikiem małej retencji, mogą w dużym stopniu przyczynić się do zwiększenia zasobów wodnych dorzeczy, szczególnie rzek nizinnych.

Przesiaki wody są jednym z najistotniejszych składników bilansu wodnego stawów, gdy w groblach i podłożu stawów występują grunty łatwo przepuszczalne (Muratowa 1989, Kosturkiewicz i in. 1992). Wielkość przesiaków może być czynnikiem limitującym powierzchnie stawów rybnych, szczególnie w warunkach małych przepływów dyspozycyjnych cieką zasilającego, dlatego ich wartość powinna być możliwie dokładnie ustalona już w fazie projektowania.

Zjawisko kolmatacji dna oraz tworzenia się osadu może odgrywać istotną rolę w kształtowaniu się wielkości przesiaków ze stawu. Z tego powodu problemowi

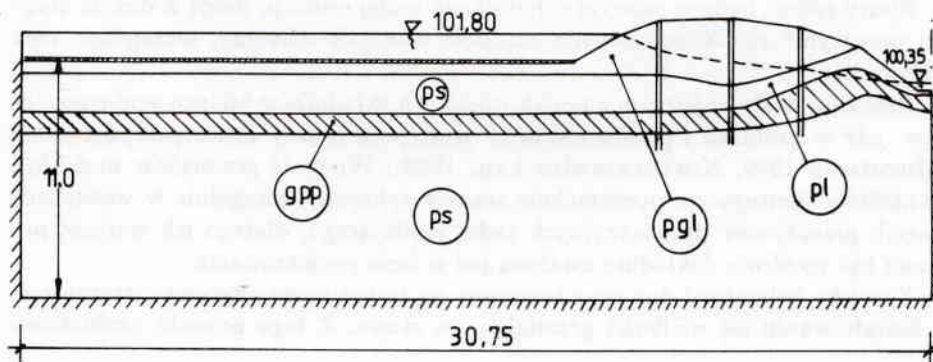
poświęcono wiele prac o charakterze teoretycznym i eksperymentalnym. Dotyczą one jednak głównie problemów oczyszczania ścieków bądź uzdatniania wody i tylko częściowo mogą być wykorzystane w zagadnieniach związanych z eksploatacją i projektowaniem stawów rybnych.

Celem niniejszej pracy było ustalenie wpływu warstwy kolmatacyjnej oraz osadu dennego na wielkość przesiaków ze stawu rybnego.

### Metodyka badań

Badania i pomiary elementów bilansu wodnego stawu rybnego typu karpiegoego prowadzono w latach 1988-1990. Badany staw jest położony w zlewni Maskawy na równinie Wrzesińskiej we wsi Stroszki (gmina Nekla, województwo poznańskie). Woda do zasilania stawu jest pobierana z rz. Maskawy rowem otwartym. Średnia głębokość stawu, o powierzchni zalewu 2,92 ha, wynosiła 1,38 m. Groble mają szerokość w koronie 4,2 m i nachylenie skarp 1:3,2. Wzdłuż nich biegnie rów opaskowy.

Badania geotechniczne polegały na wykonaniu otworów badawczych w dnie i groblach stawu, z których pobierano próbki gruntu do analiz laboratoryjnych. Na podstawie wyników analiz sporządzono wykresy uziarnienia gruntów w poszczególnych warstwach i obliczono średnice zastępcze. Na rycinie 1 przedstawiono przekrój poprzeczny przez groblę badanego stawu z zaznaczeniem obszaru filtracji. Górna część korony grobli jest zbudowana z piasków gliniastych, pod nimi w całym przekroju grobli występuje warstwa piasku średniego. W dnie stawu stwierdzono grunty organiczne, a na obrzeżach stawu w podłożu występują piaski gliniaste lekkie i mocne (zawartość części spławialnych: 11-18% o miąższości 50 cm, pod którymi



Ryc. 1. Przekrój przez groblę i podłoże stawu w Stroszkach  
Fig. 1. Cross-section of levee and of pond at Stroszki

zalegają piaski słabo gliniaste (o miąższości 50 cm) i piaski luźne. Poniżej warstw średnio i dobrze przepuszczalnych, w grobli i dnie występuje warstwa gliny pylastej o miąższości ok. 0,5 m i współczynniku filtracji  $1,04 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Wielkości współczynników filtracji obliczono na podstawie średnic zastępczych ziaren gruntu wzorami empirycznymi.

Zbudowano numeryczny model filtracji przez dno i groblę stawu w Stroszkach. Po napełnieniu stawu w czasie całego sezonu utrzymuje się (gdy to możliwe) stały poziom wody, dlatego też do opisu zjawiska przyjęto równania filtracji ustalonej (Wosiewicz i Sroka 1992). Zagadnienie potraktowano jako płaskie w przekroju pionowym prowadzonym przez groblę i dno stawu. Model numeryczny jest oparty na metodzie elementu skończonego (MES). Zastosowano elementy trójkątne z liniowymi funkcjami kształtu.

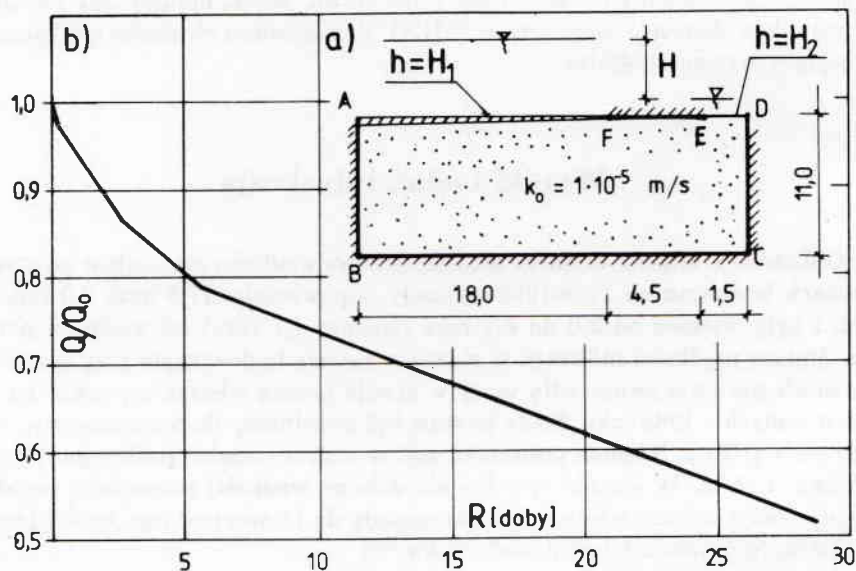
## Wyniki badań i dyskusja

Obliczone z bilansu wodnego średnie dobowe wielkości przesiaków ze stawu w sezonach hodowlanych 1988-1990 wyniosły odpowiednio: 17,8 mm, 9,9 mm i 9,1 mm, i były większe od 3,0 do 6,1 raza (średnio 4,1 raza) od wielkości parowania. Zmianę prędkości infiltracji w stawie w sezonie hodowlanym przy niewielkich zmianach poziomu zwierciadła wody w stawie można scharakteryzować na podstawie danych z 1988 roku, kiedy to staw był napełniony do normalnego poziomu piętrzenia (NPP). Różnica poziomów wód w stawie i rowie opaskowym wyniosła wówczas 1,45 m. W sezonie tym średnie dobowe wielkości przesiaków sięgały 25 mm na początku okresu bilansowania i spadały do 11 mm pod jego koniec (średnio 17,8 mm, co odpowiadało  $6,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ ).

W następnych latach badań z powodu deficytu wody staw ten nie osiągnął pełnego napełnienia. W okresie hodowlanym 1989 roku poziom wody w stawie wynosił zaledwie 100,90 m n.p.m. i był niższy o 90 cm od NPP, wskutek czego średnie dobowe wielkości przesiaków wyniosły od 14,0 mm do 6,0 mm, co odpowiadało  $4,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$  i  $2,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ . Również w następnym roku napełnienie stawu nie osiągnęło NPP i straty wody na przesiaki wyniosły ok.  $3,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ . Zmianę prędkości infiltracji w rozpatrywanym stawie w ostatnich dwóch latach można wyjaśnić malejącym, wraz z obniżaniem się poziomu wody w stawie, spadkiem hydraulicznym. Zmniejszanie wartości przesiaków w sezonie 1988 roku (przy stałym piętrzeniu) należy wiązać ze zjawiskiem kolmatacji oraz tworzeniem się osadu dennego.

Badanie wpływu warstwy kolmatacyjnej i osadu dennego na wielkość przesiaków przeprowadzono na modelu numerycznym stawu w Stroszkach. Obliczenia dotyczące obiektu w Stroszkach poprzedzono analizą parametryczną zadania modelowego. Zadanie to sformułowano w taki sposób, aby było stosunkowo proste do analizy oraz interpretacji wyników, a jednocześnie opisywało istotne wielkości modelowanego problemu.

**Zadanie modelowe.** Wymiary obszaru filtracji oraz warunki brzegowe sformułowano tak, aby odpowiadały typowej grobli stawowej. Przyjęto ośrodek jednorodny o współczynniku filtracji  $k = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Schemat zadania przedstawiono na rycinie 2a. Dla uproszczenia, odwzorowując geometrię obszaru, pominięto korpus grobli. Brzeg E-F jest nieprzepuszczalny i odpowiada krzywej depresji w modelu obiektu rzeczywistego. Wzdłuż dna stawu oraz rowu opaskowego przyjęto warunek Dirichleta a na pozostałych częściach brzegu brak przepływu. Wzdłuż linii A-F wymodelowano cienką (25 cm) warstwę, w której zmieniano współczynnik filtracji od  $k_w = k_0$  do  $k_w = 0,01k_0$ .



Ryc. 2. Zadanie modelowe: a) schemat zadania, b) obliczony wydatek jako funkcja oporności filtracyjnej  $R$

Fig. 2. Illustrative example: a) definition sketch, b) calculated seepage rate as a function of resistance of bed layer  $R$

Innym możliwym rozwiązaniem jest wymuszenie na tym brzegu warunku III rodzaju w postaci:

$$q = k_w \frac{H_1 - h}{\delta} = \frac{H_1 - h}{R} \quad (1)$$

gdzie:  $q$  – wydatek ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ ),

$\delta$  – grubość warstwy (m),

$k_w$  – współczynnik filtracji warstwy ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Współczynnik  $R$ , mający wymiar czasu, jest nazywany opornością filtracyjną. Może on być jedynym parametrem opisującym wodoprzepuszczalność warstwy. Sens fizyczny tego współczynnika dobrze oddaje zależność:

$$T = n_e R \quad (2)$$

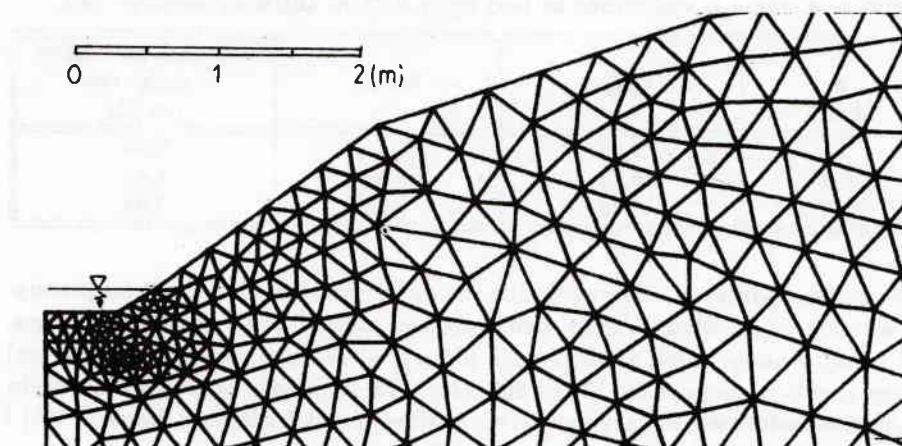
gdzie:  $n_e$  – porowatość efektywna,

$T$  – czas pojawienia się przesiąków przez warstwę, gdy ruch jest wymuszony jednostkowym gradientem wysokości piezometrycznej.

Obliczenia wykonano za pomocą programu FILMES (Wosiewicz i Sroka 1992), przyjmując różne przepuszczalności warstwy. Uzyskane wyniki w postaci bezwymiarowej wielkości przesiąków przedstawia rycina 2b. Symbolem  $Q_0$  oznaczono wielkość wydatku filtracyjnego przy braku warstwy kolmatacyjnej. Warto zauważyć, że wraz ze wzrostem parametru  $R$  wykres przedstawionej zależności zbliża się do liniowego.

Przy zmianie przepuszczalności warstwy zmienia się także rozkład wydatku wzdłuż linii dna. Przy przepuszczalności warstwy  $R = 28,6$  doby rozkład wydatku wzdłuż brzegu A-F jest prawie równomierny, natomiast przy braku warstwy kolmatacyjnej ( $R = 0$ ) przepływ jest mocno skoncentrowany w pobliżu grobli (brzeg E-F).

**Staw w Stroszkach.** Obszar filtracji określono na podstawie przekroju geotechnicznego. Od strony wody dolnej obszar wyznacza oś symetrii rowu opaskowego, a od strony wody górnej oś symetrii stawu. Miąższość rozpatrywanego obszaru filtracji ograniczono do 8 m, licząc od dna stawu. Wydzielono w nim sześć podobszarów o różnym współczynniku filtracji. Dla poszczególnych warstw współczynnik filtracji mieścił się w zakresie od  $1,7 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (piaski luźne) do  $1,04 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (głina pylasta). Do obszaru filtracji dołączono również część korpusu grobli leżącą powyżej krzywej depresji, zakładając tam strefę ograniczonego podsiąku kapilarnego.



Ryc. 3. Podział na elementy skończone w pobliżu rowu opaskowego

Fig. 3. Finite element discretization near the ditch

Podział na elementy skończone dokonano w taki sposób, aby z jednej strony odwzorować geometrię poszczególnych warstw osrodka, a z drugiej strony zapewnić odpowiednią dokładność MES. Zbudowana za pomocą programu generującego (Wosiewicz i Sroka 1990) siatka składała się z 1218 węzłów oraz 2297 elementów trójkątnych. W miejscach spodziewanych większych gradientów hydraulicznych (obszar w pobliżu rowu opaskowego, warstwa kolmatacyjna) siatkę zagęszczono. Na rycinie 3 pokazano fragment siatki od strony wody dolnej.

Dla węzłów leżących na dnie stawu oraz rowu opaskowego wymuszono warunek Dirichleta, przyjmując odpowiednie poziomy piezometryczne. Różnica tych poziomów wynosiła  $H = 1,45$  m. Na pozostałych częściach brzegu przyjęto brak przepływu. Ze względu na niewielką długość pominięto strefę wysączenia.

Tarowanie modelu wykonano na podstawie wartości przesiąków wyznaczonych z bilansu wodnego oraz uzyskanych z pomiarów infiltrometrem (Muratowa 1989). Dobrano współczynnik filtracji dla warstwy piasków o największej przepuszczalności. Obliczoną na podstawie pomiarów wartość współczynnika filtracji piasków luźnych, wynoszącą  $1,7 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , obniżono do  $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , uzyskując wydatek  $Q = 0,598 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ , co dało wskaźnik przesiąków  $2,5 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ . Wartość ta odpowiada wielkości przesiąków wyznaczonych dla 1988 roku na początku sezonu.

Uzyskane z obliczeń wielkości przesiąków dla różnych przepuszczalności warstwy kolmatacyjnej oraz osadu dennego zestawiono w tabeli 1. Porównując wielkości bezwymiarowe  $Q/Q_0$  oraz  $k_w/k_0$  z analogicznymi uzyskanymi dla zadania modelowego, stwierdzono bardzo dużą ich zgodność.

Tabela 1

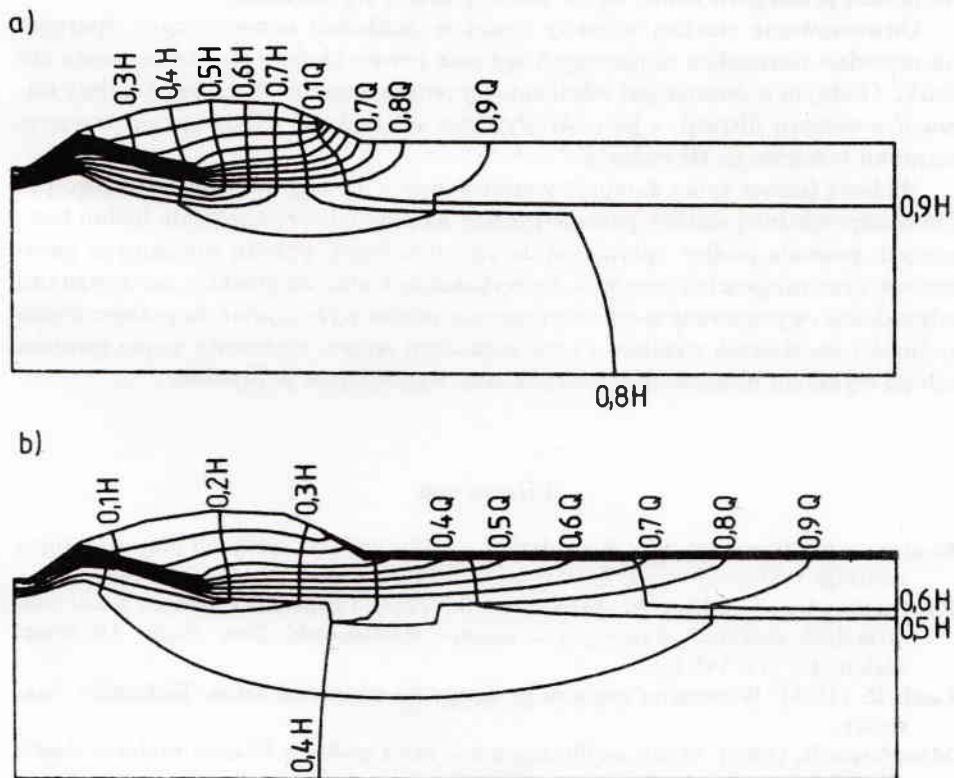
Zależność natężenia przesiąków od oporności filtracyjnej warstwy dennej o grubości  $\delta = 0,25$  m  
Effect of seepage resistance of bed layer 0.25 m thick on seepage rate

$R$ (doby)	$Q/Q_0$ (-)	$k_w/k_0$ (-)	Wskaźnik przesiąków Seepage rate (cm/d)
2,8	0,88	0,1	2,38
30,8	0,54	0,01	1,46
61,9	0,40	0,005	1,08

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że odnotowany spadek wielkości przesiąków w sezonie hodowlanym 1988 roku może być spowodowany zjawiskami kolmatacji i sedymentacji, jeżeli współczynnik filtracji wierzchniej warstwy dna (25 cm) i skarp grobli zmniejszył się blisko 200 razy. Warto dodać, że podobnego rzędu zmniejszenie zdolności filtracyjnych stwierdzili w swoich badaniach Laak (1986) i Czamara i in. (1975).

Wraz ze zmniejszeniem przepuszczalności warstwy zmienia się nie tylko wielkość przesiąków, lecz także ich rozkład. Rycina 4 przedstawia siatki hydrodynamiczne przepływu filtracyjnego dla wariantu bez warstwy kolmatacyjnej (a) oraz

dla najmniejszej analizowanej przepuszczalności warstwy (b). Warto zauważyć występowanie dużych gradientów hydraulicznych na dnie stawu i skarpie grobli (warstwa kolmatacyjna oraz osadów dennych), co dobrze ilustruje rycina 4b.



Ryc. 4. Siatka hydrodynamiczna (staw w Stroszkach): a) wariant bez warstwy kolmatacyjnej, b) z warstwą o oporności  $R = 61,9 d$

Fig. 4. Flow net (pond at Stroszki): a) case without clogging layer, b) case with clogging layer of seepage resistance  $R = 61,9 d$

### Podsumowanie

Przeprowadzone badania i analizy wykazują, że zjawisko kolmatacji i tworzenie się warstwy osadu dennego powoduje nie tylko spadek wielkości przesiąków, zmianie ulega także ich rozkład. Na początku sezonu przesiąki koncentrują się w pobliżu grobli. Pod koniec sezonu, gdy przepuszczalność warstwy kolmatacyjnej oraz osadu jest najmniejsza rozkład wydatków w dnie stawu jest bardziej równomierny.



Biorąc pod uwagę 25-centymetrową wierzchnią warstwę gruntu macierzystego, dopiero spadek uśrednionego współczynnika filtracji o dwa rzędy powoduje zmniejszenie przesiąków o połowę. Zależność pomiędzy przepuszczalnością tej warstwy a wielkością przesiąków zbliża się do liniowej wraz z jej spadkiem.

Odwzorowanie cienkiej warstwy osadu w modelach numerycznych opartych na metodzie elementów skończonych sprawia pewne kłopoty na etapie tworzenia siatki. Godnym polecenia jest odmienne jej potraktowanie. Warstwę tę należy odrzucić z obszaru filtracji, a jej oddziaływanie uwzględniać jedynie przez przyjęcie warunku brzegowego III rodzaju.

Budowa (nawet tylko wstępnie wytarowanego) modelu i wykonanie z jego pomocą odpowiedniej analizy parametrycznej na etapie programowania badań terenowych pozwala podjąć optymalną decyzję dotyczącą wyboru mierzonych parametrów oraz miejsca ich pomiaru. Po wykonaniu badań na obiekcie rzeczywistym, odpowiednio wytarowany model numeryczny można wykorzystać do potwierdzenia spójności uzyskanych wyników z przyjmowanym opisem matematycznym zjawiska lub po wykryciu niezgodności zweryfikować wyjaśniające je hipotezy.

#### Literatura

- Czamara A., Czamara W., Kowalski J. (1975): Badania infiltracji przy sztucznym zasilaniu wód gruntowych. Zesz. Nauk. AR Wroc. Melior. 21, 115: 253-259.
- Kosturkiewicz A., Miler A., Muratowa S. (1992): Gospodarka wodna i jakość wód w małych zlewniach stawowych w regionie Wielkopolski. Zesz. Nauk. AR Wroc. Melior. 40, 211: 145-168.
- Laak R. (1986): Wastewater engineering design for unsewered areas. Technomic, Lancaster.
- Muratowa S. (1989): Straty na filtrację przez dno i groble w bilansie wodnym stawu. W: XII Szkoła Letnia, Sobieszów: 157-163.
- Muratowa S. (1993): Wpływ osadów dennych na wodoprzepuszczalność dna stawu rybnego. Roczn. AR Pozn. 244, Melior. Inż. Środ. 12: 89-100.
- Wosiewicz B.J., Sroka Z. (1990): Dwustopniowy, interakcyjny generator siatki trójkątnej dla dyskretnych modeli zjawisk mechanicznych. W: Mat. XXIX Symp. „Modelowanie w mechanice”. Beskid Śląski. Zesz. Nauk. P. Śl. Mech. 99: 369-374.
- Wosiewicz B.J., Sroka Z. (1992): Komputerowe obliczenia filtracji. WNT, Warszawa.

---

IMPACT OF CLOGGING LAYER AND BED SEDIMENT  
ON RATE OF SEEPAGE FROM FISH POND

S u m m a r y

The paper presents a numerical simulation of impact of sediments on the rate of seepage from fish pond. The computer model was created using finite element method. The calibration of the model was based on parameters calculated from the pond water budget and measured with the aid of infiltrometer.