

BOGDAN BLECHERT, A. BARBARA STOCH

INSTYTUT OCHRONY ŚRODOWISKA
W KATOWICACH

WYBÓR OPTIMALNEGO ROZWIĄZANIA GOSPODARKI WODNO-ŚCIEKOWEJ
W ZAKŁADZIE PAPIERNICZYM

Streszczenie. W referacie przedstawiono matematyczne modele wody w stawach, które planuje się włączyć w obieg wodno-ściekowy w fabryce papieru. Przeanalizowano szereg wariantowych rozwiązań obiegu wodno-ściekowego, w celu zmniejszenia dostawy tlenu (przez aeratory) i zużycia energii elektrycznej.

1. Wstęp

Zakłady papiernicze potrzebują do produkcji znacznej ilości wody i odrowadzają duże ilości ścieków powodując nadmierne zanieczyszczenie wód odbiornika. Przebadano gospodarkę wodno-ściekową w jednym z zakładów papierniczych zasilanym wodą z rzeki za pośrednictwem dwóch równoległych stawów mających za zadanie retencjonowanie i wstępne oczyszczanie wód. W celu zapewnienia odpowiedniej ilości wód w okresach suchych oraz zmniejszenia obciążenia ściekami odbiornika postanowiono założyć trzeci staw połączony z dwoma już istniejącymi i skierować część ścieków na początek trzeciego stawu.

Dla ustalenia maksymalnej ilości ścieków, jaką można doprowadzić do wody stawów bez nadmiernego ich zanieczyszczenia /jakość wód odpływających ze stawów powinna odpowiadać wymogom dla wód II klasy czystości/ oraz optymalnego miejsca doprowadzenia wody z rzeki, opracowano matematyczne modele przepływu wody w stawach oraz modele zmian ich jakości: temperatury, tlenu rozpuszczonego, ChZT, BZT₅, utlenialności, substancji rozpuszczonych i zawiesin.

2. Modele matematyczne

Modele matematyczne zmian jakości wody wzdłuż stawów powiązано z modelem przepływu wód w stawach. Przyjęto przepływy ustalone, jednowymiarowe. Powierzchnię stawów podzielono na segmenty i przyjęto kierunek przepływu od wlotu wody do stawu, poprzez środki ciężkości poszczególnych segmentów, do wylotu.

Sumaryczne natężenie przepływu wód w obu stawach jest stałe i równe poborowi wody ze stawów przez zakłady papiernicze. Natężenie przepływu w poszczególnych stawach nie jest równe i zmienia się w ciągu roku. Ponadto czasy zatrzymania w stawach zmieniają się wraz ze zmianą ich napełnienia. Prędkości przepływu zmieniają się po długości stawów, odpowiednio do powierzchni przekrojów poprzecznych, w poszczególnych segmentach.

Transport zanieczyszczeń w stawach symulowano równaniem:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[E \frac{\partial C}{\partial x} - u \cdot C \right] \pm S \quad /1/$$

gdzie: C - stężenie zanieczyszczenia /wielkość wskaźnika zanieczyszczenia/ w wodzie $g \cdot m^{-3}$,
 t - czas, doby,
 u - prędkość przepływu, $m \cdot d^{-1}$,
 E - współczynnik dyspersji wzdłużnej, $m^2 \cdot d^{-1}$,
 S - wzrost lub zanik stężenia zanieczyszczeń spowodowany czynnikami dodatkowymi /poza rozprzestrzenianie/.

Temperaturę w kolejnych przekrojach poprzecznych stawów wyznaczano z równania [1]:

$$T/i/ = [T/i-1/ - T_r/ \cdot \exp /- K \cdot t_r/ h/i/] + T_r \quad /^{\circ}C/ \quad /2/$$

gdzie: $T/i/$ - temperatura wody na końcu i -tego wycinka stawu /w i -tym przekroju poprzecznym/ $/^{\circ}C/$,
 K - współczynnik szybkości zmian temperatury po długości $/m \cdot d^{-1}/$,
 $h/i/$ - głębokość wody w i -tym wycinku stawu $/m/$,
 T_r - temperatura równowagi na powierzchni wody $/^{\circ}C/$,
 wyznaczona wg procedury Browna [2] z wykorzystaniem wyrażenia na całkowite promieniowanie skoneczne, H_g , wg Sztylera [3] zgodnie z równaniami:

$$A_t = 0,9 + T/ + T_d/ + 32 \quad /^{\circ}C/ \quad /3/$$

$$B_g = 0,255 - 0,0085 \cdot A_t + 0,000204 \cdot A_t^2 \quad /4/$$

$$F_u = 70 + 1,35 \cdot /U_w/ ^2 \quad /5/$$

$$H_c = 15,7 + /B_g + 0,26/ \cdot F_u \quad /6/$$

$$H_g = H_c \cdot /0,738 + 2,177 \cdot U_g/ t_d/ \quad /7/$$

$$T_r = T_d + /H_g/ H_g/ \cdot t_r/ 1,8 \quad /^{\circ}C/ \quad /8/$$

gdzie: U_w - prędkość wiatru $/m \cdot s^{-1}/$,
 U_g - uskóśnienie $/h/$,
 t_d - długość dnia $/h/$,
 H_d - promieniowanie na górnej granicy atmosfery $/J \cdot cm^{-2} \cdot d/$,
 T_d - temperatura punktu rosy $/^{\circ}C/$, wyznaczana z równania [4]:

$$T_d = T - /14,55 + 0,114 \cdot T/ \cdot \frac{100-WV}{100} - \left[/2,5 + 0,007 \cdot T/ \cdot \frac{100-WV}{100} \right] - /15,9 + 0,117 \cdot T/ \cdot \frac{100-WV}{100} / ^{\circ}C/ \quad /9/$$

gdzie: T - temperatura wody na wlocie do stawu $/^{\circ}C/$,
 WV - wilgotność względna,

W przypadku tlenu głównymi procesami powodującymi wzrost jego stężenia są powierzchniowa reaeracja i fotosynteza, natomiast procesami powodującymi zmniejszenie zawartości tlenu są:

- biochemiczne zapotrzebowanie tlenu na rozkład substancji węglowych i azotowych rozpuszczonych w wodzie,
 - biochemiczne zapotrzebowanie tlenu osadów dennych, respiracja roślin.
- Przyjmując, że powyższe procesy są procesami ustalonymi i zachodzą z jednakową intensywnością po długości stawów równanie powyższe przyjmie postać:

$$0 = E \frac{d^2D}{dx^2} - u \frac{dD}{dx} + K_1L + K_n \cdot N - K_2D - /P - R_o - B/ \quad /10/$$

gdzie:

- C - zawartość tlenu w wodzie, gm^{-3} ,
- C_s - stężenie, nasycenia tlenu w wodzie, $g \cdot m^{-3}$,
- D - deficyt tlenu, $g \cdot m^{-3}$; $D = C_s - C$,
- K_2 - współczynnik szybkości reaeracji, d^{-1} ,
- K_1 - współczynnik szybkości rozkładu biochemicznego substancji węglowych, d^{-1} ,
- K_n - współczynnik szybkości biochemicznego rozkładu substancji azotowych, d^{-1} ,
- L - BZT₂₀ = biochemiczne zapotrzebowanie tlenu rozkład w substancji węglowych, $g \cdot m^{-3}$,
- N - biochemiczne zapotrzebowanie tlenu na rozkład substancji azotowych, d^{-1} ,
- P - szybkość produkcji tlenu na drodze fotosyntezy glonów, $g \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$,
- R_o - szybkość respiracji glonów, $g \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$,
- B - biochemiczne zapotrzebowanie tlenu osadów dennych, $g \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$.

Wstawiając do równania /10/ wyrażenia na L i N /1/:

$$L = L_o \cdot \exp \left[\frac{x-u}{2E} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4K_1E}{u^2}} \right) \right] \quad \text{oraz} \quad /11/$$

$$N = N_o \cdot \exp \left[\frac{x-u}{2E} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4K_nE}{u^2}} \right) \right] \quad /12/$$

w których L_o i N_o to wartości odpowiednio L i N w odległości $x = 0$ od początku segmentu stawu, otrzymujemy równanie różniczkowe opisujące kształtowanie się deficytu tlenowego w wodzie:

$$0 = E \cdot \frac{d^2D}{dx^2} - u \frac{dD}{dx} + K_1 \cdot L_o e^{mx} + K_n N_o e^{rx} - K_2D - /P - R_o - B/ \quad /13/$$

gdzie:

$$m = \frac{u}{2E} \cdot \left[1 - \sqrt{1 + \frac{4K_1E}{u^2}} \right] \quad /14/$$

$$r = \frac{u}{2E} \cdot \left[1 - \sqrt{1 + \frac{4K_nE}{u^2}} \right] \quad /15/$$

Uwzględniając wpływ procesów /P-R₀-B/ na początku układu oraz zaniedbując wpływ związków azotowych /stężenia ich były niewielkie/ /równanie/13/ można przepisać w prostszej postaci, którego rozwiązanie jest postaci:

$$D = \frac{L_0 K_1}{K_2 K_1} \left[e^{j \cdot t} - \frac{S_1}{S_2} \cdot e^{g \cdot t} \right] + D_0 \cdot e^{g \cdot t} \quad /16/$$

gdzie: $\frac{x}{u} = t$ - czas /przepływu, np. wzdłuż stawu/, d⁻¹, /17/

$$j = \frac{u^2}{2 \cdot E} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{4K_1 E}{u^2}} \right], d^{-1} \quad /18/$$

$$g = \frac{u^2}{2 \cdot E} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4K_2 E}{u^2}} \right], d^{-1} \quad /19/$$

$$S_1 = \sqrt{1 - \frac{4K_1 E}{u^2}} \quad /20/$$

$$S_2 = \sqrt{1 + \frac{4K_2 E}{u^2}} \quad /21/$$

Równanie /11/ stosowane do wyznaczania zmian BZT po długości stawów zastosowano również do symulowania odpowiednich zmian ChZT i utlenialności po zastąpieniu K₁ współczynnikami K₀ i K_u.

Do wyznaczania zawartości zawiesin w wodzie stawów posłużono się prostym równaniem:

$$C_z / i / = C_z / i-1 / \cdot \exp \left[\frac{1/i \cdot u/i}{2E} \cdot (1-W) \right] \quad /22/$$

w którym:

$$W = \sqrt{1 + \frac{4rE}{u/i^2}} \quad /23/$$

$$r = 1 - s \ln \left[\frac{24 \cdot 1/i}{u/i \cdot s} + 1 \right] \quad /24/$$

$$s = Sg \left(\frac{h/i}{H_I} \right)^x \quad /25/$$

gdzie: Sg - współczynnik szybkości sedymentacji zawiesin w kolumnie /h⁻¹/,

- współczynnik wyznaczony w drodze kalibracji modelu,

H_I - wysokość słupa wody w kolumnie /m/,

1/i/ - droga przepływu w i-tym segmencie stawu /m/,

u/i/ - szybkość przepływu w i-tym segmencie stawu

C_z - koncentracja zawiesin /g.m⁻³/.

Ze zmiany /ubytku/ zawartości zawiesin przy znanym przepływie wód wyznaczone przyrost masy osadów w kolejnych segmentach /oraz objętości przy znanym ciężarze nasypowym osadów/.

3. Wyznaczanie wartości parametrów modeli

Dane wejściowe do modeli zebrano na podstawie:

- badań i pomiarów bezpośrednich, których wynikiem jest wartość liczbową danego parametru,
- badań i pomiarów pośrednich, w których ze zmierzonych innych parametrów wyznaczono wartość liczbową danego parametru,
- kalibracji modeli, polegającej na wyznaczeniu dla danego parametru takiej wartości liczbowej, przy której model najlepiej opisuje badany system rzeczywisty,
- danych literaturowych.

3.1. Zastosowane równania matematyczne

Występujące w równaniu /10/ wyrażenia $P-R_0$ opisujące produkcję i zużycie tlenu przez organizmy zielone przedstawiono w pracy [5] jako:

$$P - R_0 = 0,79 U_B \text{ a } t_r - 3,1 \text{ a} \quad /26/$$

gdzie:

U_B - usłonecznienie, $h \cdot d^{-1}$

t_r - czas zatrzymania w segmencie stawu, d

a - maksymalna szybkość produkcji tlenu w ciągu doby, $gO_2 \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$.

Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu osadów dennych, B, wyznaczono z równań:

$$B = \frac{b}{H} \quad /mg \cdot dm^{-3} \cdot d^{-1}/ \quad /27/$$

gdzie:

b - biochemiczne zapotrzebowanie tlenu osadów dennych na powierzchni $1 m^2$, $/g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}/$,

H - głębokość wody w segmencie /m/

oraz

$$b = b_{20} \cdot \theta_3^{T-20} \quad /g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}/ \quad /28/$$

gdzie:

b_{20} - biochemiczne zapotrzebowanie tlenu osadów dennych na powierzchni $1 m^2$ przy temperaturze wody $20^\circ C$,

θ_3 - współczynnik temperaturowy procesu poboru tlenu przez osady dennie.

Współczynnik szybkości rozkładu biochemicznego zanieczyszczeń węglowych K_1 wyznaczano z równania:

$$K_1 = k_1 + \theta_1 \frac{H}{H} \quad /29/$$

$$k_1 = k_{1/20} \cdot \theta_1^{T-20} \quad /30/$$

gdzie: $k_{1/20}$ - współczynnik szybkości redukcji BZT₅ w warunkach laboratoryjnych /w temp. $20^\circ C$ /, d^{-1} .

T - temperatura wody, °C.

η - współczynnik aktywności dna,

θ_1 - współczynnik temperaturowy procesu BZT.

Współczynniki K_0 i K_u wyznaczano analogicznie jak K_1 .

Współczynnik reakeracji K_2 , wyznaczano z równania Banksa [6] i Herrery [6].

$$k_2 = /0,384 U_w^{0,5} - 0,088 U_w + 0,0029 U_w^2/ \quad /31/$$

$$k_2 = k_{2/20} \cdot \theta_2^{/T-20/} \quad /32/$$

gdzie:

U_w - prędkość wiatru, km.h⁻¹

θ_2 - współczynnik temperaturowy procesu natleniania wody.

Stężenie nasycenia tlenu w wodzie, C_s wyznaczano z zależności od temperatury [7]:

$$C_s/T = 14,541233 - 0,3928026 T - 0,00732326 T^2 - 0,00006629 T^3 \quad /33/$$

gdzie:

T - temperatura wody, °C.

Współczynnik dyspersji wzdłużnej, E wyznaczano z równania:

$$E = 0,18 \left(\frac{u_x}{u} \right)^{0,15} \cdot \frac{Q^2}{u_x \cdot H^3} \quad /34/$$

przy $u_x = \sqrt{H \cdot g \cdot S_0}$

gdzie: Q - natężenie wód przepływających przez przekrój poprzeczny

stawu, m³.d⁻¹

S_0 - spadek dna /na drodze przepływu/.

Dla celów prognostycznych wyznaczono zależności zanieczyszczenia ścieków od jakości wód pobieranych ze stawów:

- temperatury ścieków, $T_{\acute{s}c}$:

$$T_{\acute{s}c} = 21,3 - 5,9 \cdot \cos \left[\frac{\pi / NM - 0,5/}{2} - 0,25/ \right] \quad /^\circ C/ \quad /35/$$

gdzie: NM - numer kolejny miesiąca w roku.

- zawartości zawiesin w ściekach, $ZO_{\acute{s}c}$:

$$ZO_{\acute{s}c} = 3,3 \cdot ZO_w + 31,3 \quad /mg/l/, \quad /36/$$

gdzie: ZO_w - zawartość zawiesin w wodzie pobieranej

- utlenialności ścieków, $U_{\acute{s}c}$:

$$U_{\acute{s}c} = 1,11 \cdot U_w + 58,5 \quad /mg/l/ \quad /37/$$

gdzie: U_w - utlenialność w wodzie pobieranej,

- ChZT ścieków, $CH_{\acute{s}c} = 1,25 \cdot CH_w + 62,9 \quad /mg/l/, \quad /38/$

gdzie: CH_w - ChZT w wodzie pobieranej ze stawów

- BZT₅ ścieków, $BZT_{\acute{s}c} = 3,1 \cdot BZT_w + 22,8 \quad /mg/l/, \quad /39/$

3.2. Wyznaczanie liczbowych wartości parametrów modelu

3.2.1. Geometria stawów

Stawy podzielono /po ich długości/ na 19 segmentów. W każdym segmencie wyznaczono powierzchnię, średnią głębokość do poziomu odniesienia oraz długość drogi przepływu wód /od wlotu poprzez środki ciężkości segmentów do wylotu ze stawu/. Z iloczynu powierzchni i głębokości wyznaczano objętość wód do poziomu odniesienia. Aktualne głębokości wód w segmentach wyznaczano na podstawie obserwacji wodowskazowych, a aktualne objętości wód jako sumy objętości poniżej poziomu odniesienia i iloczynu powierzchni segmentu oraz różnicy pomiędzy aktualnym poziomem wód i poziomem odniesienia. Spadki dna wyznaczano jako ilorazy różnicy wysokości dna oraz odległości pomiędzy środkami ciężkości kolejnych segmentów stawu.

3.2.2. Prędkości i natężenia przepływu oraz czasy zatrzymania w segmentach stawów

Natężenie przepływu w obu stawach przyjęto równe natężeniu poboru wód ze stawów. Natężenie przepływu w danym stawie wyznaczano na drodze chemicznej. Czas zatrzymania wód w segmencie wyliczono jako iloraz objętości wód w segmencie i natężenia wód przepływających w stawie. Prędkości przepływu wód w segmentach wyznaczano jako ilorazy długości drogi przepływu i czasów zatrzymania wód w segmentach.

3.2.3. Parametry meteorologiczne

Usłonecznienie, prędkość wiatru, temperaturę, wilgotność względną powietrza przyjmowano na podstawie pomiarów IMGW, natomiast promieniowanie na górnej granicy atmosfery wg pracy A.Sztylera [3].

3.2.4. Jakość wód dopływających do stawów i odpływających z nich oraz zanieczyszczenie ścieków

Temperatury, BZT₅, ChZT, utlenialność, zawartości zawiesin i tlenu rozpuszczonego w wodzie na wlocie i wylocie ze stawów oraz w ściekach technologicznych odprowadzanych z zakładu mierzono 1-3 razy miesięcznie przez okres 2 lat.

3.2.5. Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu osadów dennych oraz inne parametry

Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu osadów dennych na powierzchni 1 m², przy temperaturze wody 20°C przyjęto wg Thomana [8].

Maksymalną szybkość procesu fotosyntezy w czasie doby w poszczególnych miesiącach wyznaczono metodą ciemnych i jasnych butelek.

Współczynnik szybkości redukcji BZT₅, ChZT i utlenialności w warunkach laboratoryjnych w 20°C wyznaczono metodą liniową.

Wartości współczynników temperaturowych procesu natleniania wody oraz procesu poboru tlenu przez osady dennie i procesów rozkładu BZT, ChZT i utlenialności przyjęto z literatury [8,9].

3.2.6. Parametry wyznaczone na drodze kalibracji modelu

Na drodze kalibracji modelu, tj. poprzez kolejne podstawianie obserwowanych wartości na wlocie i wylocie ze stawów wyznaczono:

- współczynnik szybkości zmian temperatury po długości stawów,
- współczynnik potęgowy, α , w modelu zawiesin,
- współczynniki aktywności dna, η dla BZT, ChZT i utlenialności.

4. Wybór optymalnego wariantu rozwiązania gospodarki wodno-ściekowej

Prognozę jakości wód w stawach, po doprowadzeniu ścieków z zakładów papierniczych wykonano za pomocą opracowanych modeli matematycznych przyjmując, że:

- wybudowany zostanie trzeci staw, połączony z dwoma już istniejącymi, na którego początek kierowane będą ścieki technologiczne z zakładu,
- woda z rzeki doprowadzana będzie na początek każdego z trzech stawów,
- nie zmienią się zależności pomiędzy zanieczyszczeniem ścieków i jakością wód pobieranych do produkcji,
- zawartość tlenu w ściekach będzie równa 90 % nasycenia /w danej temperaturze/,
- nie będzie glonów w stawach /nie będą zachodziły procesy fotosyntezy i respiracji/,
- jakość wód dopływających z Warty do stawów /BZT₅, utlenialność, ChZT, zawartość zawiesin i tlenu/ będzie równa średniej z obserwowanego zakresu stężeń,
- temperatury wody na wlocie do stawów oraz wartości parametrów meteorologicznych będą równe średnim z obserwowanych w poszczególnych miesiącach,
- pobór wody ze stawów oraz ilość "wytwarzanych" ścieków technologicznych nie ulegną zmianie,
- woda stawów będzie napowietrzana do poziomu co najmniej 4 mg/l.

Przeanalizowano szereg wariantów różniących się między sobą:

- ilością ścieków wprowadzanych do stawu 3,
- ilością wody z Warty doprowadzanej do stawu 3,
- ilością wody doprowadzanej do pozostałych dwóch stawów,
- ilością wody zrzucanej ze stawów do Warty,
- głębokością wody w stawach.

Obliczenia prowadzono przy uwzględnieniu warunków panujących w okresie letnim oraz w okresie zimowym.

Kryteriami oceny poszczególnych wariantów było:

- osiągnięcie jakości odpowiadającej wymogom II klasy czystości w wodach pobieranych /odprowadzanych do Warty/ ze stawów,
- ilość energii doprowadzonej do aeratorów dla zapewnienia wymaganego poziomu natlenienia wód.

Obliczono, że:

- w okresie zimowym korzystne będzie utrzymywać niewielką głębokość /0,5 m/ 3. stawu oraz doprowadzać 7000 m³/d do stawu 3. a do pozostałych po 5000 m³/d,
- w okresie letnim korzystne będzie zwiększyć głębokość wód w 3. stawie do 1,5 m oraz doprowadzać do niego 27000 m³/d, z czego 25000 m³/d, po przepłynięciu przez trzy stawy, odprowadzana będzie do Warty.

Opracowane modele okazały się przydatne w symulowaniu omówionych wyżej sytuacji i wyboru efektywnego rozwiązania.

Piśmiennictwo

1. Krishnaswamigar, K., G.C., Sornberger, C.I. Hirshberg:
"Oxygen Sag Curve with Thermal Overload". Journal of the Environmental Division. Vol.99, No EE5, Oct.1973 569-575.
2. Brown, G.W., J.R. Brazier:
"Controlling Thermal Pollution in Small Streams".
EPA-R2-72-083 Washington 1972.
3. Szytler A.:
"Zmętnienie atmosfery i osłabienie promieniowania słonecznego jako wynik zanieczyszczenia powietrza w centralnej części górnośląskiego okręgu przemysłowego".
Praca doktorska. Katowice 1981.
4. Linsley R.K., M.A. Kohler, J.L.H. Paulhus:
"Hydrology for Engineers"
Mc Grow-Hill. New York 1975.
5. Blechert B., A.B. Stoch, S. Ryborz:
"Ocena możliwości usprawnienia gospodarki wodno-ściekowej w Myszkowskich Zakładach Papierniczych - Etap II".
IKS Katowice, Katowice 1985.
6. Banks R.B., F.F. Herrera:
"Effect of Wind and Rain on Surface Reaeration".
JEEED, ASCE, 103, EE3, 489-504, 1977.
7. Whitehead P.B., E.O. Beck:
"R Systems Model of Streamflow and Water Quality in the Bedford Ouse River System - II Water Quality Modelling" Water Research 5, 10, 1157-1171, 1981.
8. Thomann R.V.: "Systems Analysis and Water Quality Management".
McGraw Hill Inc, New York 1972.

9. Krenkel A.P., W.W.Eckenfelder:
„Stream Analysis and Thermal Pollution.” The University of
Texas, Austin 1967.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ ВОДОЙ И СТОЧНЫМИ
ВОДАМИ НА БУМАЖНОЙ ФАБРИКЕ

Резюме

В реферате представлена математическая модель качества воды в прудах, которые планируется включить в круговой процесс воды и сточных вод на бумажной фабрике. Проведён анализ ряда вариантов решения кругового процесса с целью уменьшения количества доставляемого кислорода (аэраторами) и снижения количества используемой электроэнергии.

THE CHOICE OF THE OPTIMAL SOLUTION OF WATER WASTE-WATER MANAGEMENT IN
A PAPER MILL

Summary

The paper presents mathematical models of water quality in ponds, which models are to be included in the water waste-water cycle in a paper mill. Various schemes of waste-water recycling have been analyzed in order to minimize reaeration needs and electric power consumption.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Janusz PIOTROWSKI

Wpłynęło do Redakcji 18.06.1987 r.