ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985
Seria : AUTOMATYKA z.78 Nr kol. 847

BARBARA STOCH
INSTYTUT KSZTAŁTOWANIA
ŚRODOWISKA ODDZ. KATOWICE

BADANIA PROCESÓW TLENOWYCH W RZECE KŁODNICY Z ZASTOSOWANIEM MODELU MATEMATYCZNEGO

Streszczenie. W referacie przedstawiono tok prac i metodykę zastosowaną do kalibracji i weryfikacji modelu BZT i tlenu rozpuszczonego opracowanego dla rzeki Kłodnicy.

1. Cel pracy

Ważnym elementem w ocenie jakości wód rzecznych jest wyznaczenie stężeń tlenu rozpuszczonego oraz biochemicznego zapotrzebowania tlenu /BZT_5/ wzdłuż biegu rzeki. Do wyznaczenia tych wskaźników jakości wód nieodzowne jest ilościowe określenie zdolności samooczyszczania się rzeki, tj. obliczenie wartości liczbowych parametrów poszczególnych procesów biochemicznych i fizycznych, w wyniku których oczyszcza się woda rzeczna. Jest to zadanie złożone, szczególnie trudne w przypadku "rzek przemysłowych", obciążonych dużą ilością ścieków, w których zjawiska hydrologiczne są bardzo zniekształcone [7]. Przykładem takiej rzeki jest Kłodnica, w której udział wód naturalnych jest nieduży w porównaniu do udziału wód obcych /ścieków komunalnych, przemysłowych i wód dołowych/. Program jej rehabilitacji został opracowany przez Instytut Kształtowania Środowiska, Oddział w Katowicach, a przedstawioną tu pracę wykonano w ramach tego programu.

Celem tej pracy było wyznaczenie BZT_5 i stężeń tlenu rozpuszczonego w rzece Kłodnicy przy średnim niskim przepływie wód /SNQ/, przyjętym jako miarodajny [11] przy ocenie stanu zanieczyszczenia rzek i planowaniu ich ochrony, oraz sprawdzenie możliwości zastosowania metody matematycznego modelowania do opisu procesów tlenowych w rzekach bardzo silnie obciążonych ściekami.

Kłodnica, rzeka wyjątkowa pod względem zanieczyszczenia w stosunku do rzek dotychczas modelowanych, nie jest jednak przykładem odosobnionym; wiele rzek w obszarze GOP ma podobną charakterystykę ilościowo - jakościową [12]. Metoda sprawdzona na przykładzie Kłodnicy mogłaby być stosowana w planowaniu ochrony innych, podobnych rzek.

Dodatkowym zamierzeniem było przedstawienie toku badań i pomiarów związanych z modelowaniem. Prace te mają bardzo szeroki zakres, dlatego ich usystematyzowanie jest szczególnie ważne. Redagując niniejszy tekst starano się, by tytuły poszczególnych rozdziałów określały kolejno cele przejściowe do osiągnięcia w toku modelowania.

2. Charakterystyka obszaru badań

Rzeka Kłodnica jest prawobrzeżnym dopływem Odry. Jej źródła znajdują się w południowej części Katowic, a ujście w rejonie Koźla, w 93+400 km Odry. Długość całej rzeki wynosi 75,5 km, a powierzchnia zlewni - 1120 km^2. Badaniami objęto część Kłodnicy, tj. 35-kilometrowy odcinek od źródeł do przekroju poniżej Gliwic, w 40+250 km rzeki. Zlewnia przynależna do tego odcinka rzeki ma powierzchnię ok. 460 km^2. Z tego obszaru dopływają do Kłodnicy następująco potoki lewobrzeżne: Ślepiotka, Panewnicki, Jamna, Mokre, Chudowski, Cienka, oraz potoki prawobrzeżne: Bielszowicki, Czarniawka, Sośnicki i rzeka Bytomka.

Zlewnia rzeki Kłodnicy, jest obszarem bardzo gęsto zaludnionym /średnio 2000 mieszkańców na 1 km^2/ i silnie uprzemysłowionym, z dużym udziałem górnictwa węgla kamiennego i przemysłu ciężkiego. Z tego obszaru odprowadzane są do rzeki Kłodnicy, a głównie do jej dopływów, ścieki bytowo-gospodarcze /181 tys.m^3/d/, ścieki poprodukcyjne /86 tys. m^3/d/, wody dołowe /62 tys.m^3/d/, wody chłodnicze /32 tys.m^3/d/.

3. Identyfikacja procesów tlenowych

W zanieczyszczonych rzekach najważniejszymi procesami tlenowymi są procesy biochemicznego utleniania związków organicznych i powierzchniowa reaeracja wody. Procesy te zawsze są uwzględniane w jakościowych modelach rzek. Inne procesy, jak fotosynteza i deponowanie BZT w osadach dennych, mogą mieć niewielkie znaczenie w bilansie tlenowym rzeki. Dla ustalenia ich istotności w rz.Kłodnicy przeprowadzono badania rekonesansowe.

Do badań produkcji tlenu w procesie fotosyntezy wybrano metodę pomiarów in situ, w próbkach izolowanych, tzw. "metodą jasnych i ciemnych butelek" [16]. Metoda ta, w porównaniu z innymi metodami jest prosta, nie wymaga specjalnego sprzętu laboratoryjnego /potrzebnego przy metodzie badań fotosyntezy w akwariach/, nie jest związana z pomiarami hydrometrycznymi /koniecznymi przy metodzie wyznaczania krzywych dobowych zmian stężeń tlenu w rzece/. Ujemną jej stroną jest pewien wpływ szklanych "jasnych" butelek na naświetlenie badanej próbki, powodujący zwiększenie produkcji pierwotnej przy pełnym naświetleniu, a zmniejszenie szybkości tego procesu w warunkach, gdy naświetlenie jest czynnikiem limitującym proces [2]. Niemniej metoda ta jest często stosowana [16]: umożliwia ona izolowanie badanych próbek od wpływu innych czynników, co zadecydowało o jej wyborze do badań rz.Kłodnicy.

Badania przeprowadzono dwukrotnie w czterech przekrojach rz.Kłodnicy, w okresie wegetacyjnym /w lecie/, przy słonecznej pogodzie. Pomiary rozpoczynano w godzinach przedpołudniowych /godz.10/, czas ekspozycji wynosił 4 godziny. Pomimo tych możliwie najbardziej korzystnych warunków nie stwierdzono wyraźnego przyrostu stężeń tlenu w próbkach naświetlonych, który świadczyłby o zachodzącej fotosyntezie. Różnice stężeń w tych próbkach i w próbkach nienaświetlonych nie przekraczały błędu pomiaru /od-0,2 do +0,3 mg/l/. Uznano zatem, że w rz.Kłodnicy proces ten jest nieistotny.

Ocenę usuwania BZT z wody, wskutek sedymentacji zawiesin, oparto na analizie prędkości przepływu wód w rz.Kłodnicy i porównaniu tych prędkości do krytycznej prędkości przepływu, przy której w cieku następuje sedymentacja zawiesin organicznych, pochodzących ze ścieków.

Według Velza [15 str.134] krytyczna prędkość przepływu wynosi 0,2 m/s. Prędkości przepływu wód w rz.Kłodnicy są większe, przy SNQ wynoszą 0,23 - 0,42 m/s. Można przyjąć, że na badanym odcinku transportowana jest cała masa zawiesin, zatem BZT deponowane może być pominięte w modelu tlenowym tej rzeki.

4. Wybór modelu matematycznego

Wybór matematycznej techniki modelowania zależy przede wszystkim od celu, któremu model ma służyć. W przypadku rz.Kłodnicy model miał posłużyć do wyznaczenia zależności pomiędzy wprowadzanymi przez użytkowników ładunkami zanieczyszczeń a BZT_5 i stężeniami tlenu rozpuszczonego w profilu podłużnym rzeki. Wybrano model:

- mechanistyczny, opisujący zachodzące w rz.Kłodnicy procesy biochemicznego zużycia tlenu i powierzchniowej reaeracji,
- statyczny, dla średnich, miarodajnych ładunków zanieczyszczeń doprowadzanych i ustalonych przepływów wód w rzece,
- deterministyczny, jako wystarczający do planowania budowy sieci oczyszczalni w zlewni rzeki [3,4,17],
- jednowymiarowy, tj. opisujący zmiany jakości wód wzdłuż biegu rzeki, przy założeniu, że w każdym poprzecznym przekroju rzeki jakość wód jest jednorodna; założenie to jest uzasadnione, gdy obiektem modelowania jest rzeka o niedużej szerokości i głębokości.

Powyższe warunki spełnia model opracowany przez Kaszczyszyna [5], który jest poszerzeniem modelu Steetera i Phelpsa [13] o obszarowe źródła tlenu rozpuszczonego i BZT_5.

5. Opracowanie informacji o użytkownikach

Użytkowników rzeki Kłodnicy[1/] zestawiono w sekwencji geograficznej. Informacje o nich obejmowały:

- średnie natężenia przepływu ścieków i średnie wartości BZT_5 i stężeń tlenu rozpuszczonego,
- średnia ilość wody pobieranej z rzeki,
- miarodajny przepływ /SNQ/ w dopływach i jakość wód /BZT_5, tlen rozpuszczony/ przy tym przepływie.

Dla opracowania tych informacji założono przekroje pomiarowo - kontrolne na wylotach kanałów ściekowych i ujściach dopływów, gdzie mierzono natężenie przepływów i równocześnie pobierano próbki do analizy. Ilość pomiarów przeprowadzonych w poszczególnych przekrojach była różna, najmniejsza /5 pomiarów/ w dopływach czystych, największa /40 pomiarów/ w dopływach zanieczyszczonych o dużej zmienności stężeń zanieczyszczeń. Wyniki badań tych ostatnich interpretowano dwiema metodami:

- wyznaczając prawdopodobieństwo stężeń,
- wyznaczając funkcyjną zależność pomiędzy stężeniami zanieczyszczeń /BZT_5/ a natężeniem przepływu [6].

6. Wyznaczenie przepływów miarodajnych wzdłuż rzeki

Na podstawie informacji o użytkowniach, obliczono, że łączna ilość ścieków i wód dopływających do rz.Kłodnicy punktowo wynosi 3,26 m^3/s. Przepływ SNQ przy końcu badanego odcinka rzeki wynosi 3,38 m^3/s. Zatem ilość wód naturalnych spływających z doliny rz.Kłodnicy w okresach suchych wynosi zaledwie 0,12 m^3/s. Przy znanej powierzchni zlewni można obliczyć wielkość spływu jednostkowego /$l/km^2.s$/. Dogodniej jednak jest posługiwać się w modelu spływem jednostkowym przeliczonym na jednostkę długości rzeki. Tak obliczony spływ z doliny rz.Kłodnicy wynosił 4 l/km.s przy niskich stanach wód w rzece. Przyjmując tę wartość spływu jednostkowego oraz ilość wód i ścieków doprowadzanych przez użytkowników wyznaczono średnie niskie przepływy wód wzdłuż rz.Kłodnicy.

7. Kalibracja modelu

7.1. Podział rzeki na odcinki homogeniczne

Kalibracja modelu polega na wyznaczeniu wartości liczbowych parametrów procesów tlenowych zachodzących w badanej rzece.

Przed przystąpieniem do badań rzekę podzielono na odcinki homogeniczne, z których każdy charakteryzują w przybliżeniu jednakowe, co do rodzaju, zanieczyszczenia organiczne i jednostajnie zmienne przepływy.

1/ Przyjęto, że użytkownikami są wszystkie obiekty wybudowane i naturalne, które mają wpływ na jakość wód rzeki lub też jakość wód tej rzeki ma wpływ na ich działanie.

W rz.Kłodnicy wyznaczono pięć takich odcinków: od źródeł do Ślepiotki, od Ślepiotki do Jamny i następnie do Czarniawki, do Bytomki i do granicy obszaru modelowego. Spływ terenowy do wszystkich odcinków przyjęto jednakowy, wynoszący 4 l/km.s. Jakość tych wód oszacowano na podstawie analogii do naturalnych cieków w tym terenie i przyjęto BZT_5= 8 mg/l a stężenie tlenu rozpuszczonego = 8 mg/l. Po ustaleniu tych danych przystąpiono do badań kinetyki procesów tlenowych w poszczególnych odcinkach.

7.2. Wyznaczenie wartości liczbowych współczynnika szybkości procesu biochemicznego zużycia tlenu - $k_{1/20^o/}$

Pomiary kinetyki procesu biochemicznego zużycia tlenu mogą być prowadzone metodą laboratoryjną lub „in situ".
Zaletą metody laboratoryjnej jest możliwość dokładnego przestrzegania czasu inkubacji badanych próbek i temperatury, wadą natomiast jest zmiana warunków rozwoju wszystkich organizmów łańcucha biologicznego. Metoda "in situ", korzystniejsza pod względem niezmienionych warunków biologicznych, jest jednak wrażliwa na zmiany temperatury i czasu przepływu wód w rzece, zachodzące w trakcie badań. Zasadniczą przyczyną, dla której zrezygnowano z tej metody, były specyficzne warunki w rzece Kłodnicy: krótkie odcinki pomiędzy poszczególnymi użytkownikami, a tym samym krótki czas przepływu nie pozwalały na zastosowanie metody "in situ". Przyjęto więc metodę laboratoryjną. Do badań pobierano próbki wody rzecznej na początku każdego odcinka homogenicznego. Zużycie tlenu w badanych próbkach mierzono w dobowych przedziałach czasu, przez okres pięciu dni. Pobór próbek z każdego przekroju i badania BZT_{1-5} przeprowadzono kilkakrotnie. Z wyników każdego studium BZT_5 obliczono metodą momentów [9] współczynnik $k_{1/20^o/}$, otrzymując w ten sposób dla każdego przekroju rzeki /a tym samym dla każdego odcinka homogenicznego /kilka wartości $k_{1/20^o/}$, z których obliczono wartość średnią. Wyznaczone w ten sposób wartości $k_{1/20^o/}$ dla kolejnych pięciu odcinków rz.Kłodnicy wynoszą odpowiednio: 0,26; 0,23; 0,14; 0,10; 0,14 /$doba^{-1}$/.

7.3. Wyznaczenie wartości liczbowych, współczynnika szybkości procesu powierzchniowej reaeracji, $k_{1/20^o/}$

W literaturze dotyczącej powierzchniowej reaeracji wód rzecznych przedstawiono szereg modeli, które pozwalają określić szybkość tego procesu na podstawie danych hydraulicznych o rzece. Z modeli tych wybrano model Churchilla, Buckinghama, Elmora [1], opracowany na podstawie najobszerniejszych badań połączonych z wielostronną analizą związków pomiędzy współczynnikiem k_2a wieloma parametrami

hydraulicznymi i fizycznymi wód rzecznych. Model ten dostosowany do jednostek SI ma postać:

$$k_{2/20^o/} = 2,1775\ V^{0,969}\ H^{-1,673}$$

gdzie:

k_2 - współczynnik szybkości reaeracji, $doba^{-1}$,

V - prędkość przepływu wód, m/s,

H - głębokość, m.

Aby otrzymać dane do tego modelu, przeprowadzono pomiary hydrometryczne w przekrojach wyznaczających homogeniczne odcinki rzeki i wyznaczono średnie prędkości przepływu i średnie głębokości wód w poszczególnych jej odcinkach, przy przepływie SNQ.

Podstawiając do wzoru otrzymano wartości $k_{2/20^o/}$ dla kolejnych odcinków rz.Kłodnicy: 2,4; 2,4; 2,5; 2,5; 1,5 /$doba^{-1}$/.

8. Weryfikacja modelu

Weryfikacja modelu polegała na porównaniu wyników analitycznych badań jakości wód w rzece z wynikami obliczonymi za pomocą modelu. Badania weryfikacyjne przeprowadzono 2-krotnie, pobierając próbki wzdłuż biegu rzeki /w pięciu przekrojach/ zgodnie z czasem przepływu, który wyznaczono metodą traserową [8]. W pobranych próbkach wody oznaczono BZT_5 i stężenie tlenu rozpuszczonego. Otrzymano wyniki, które obrazują rzeczywistą, analitycznie stwierdzoną jakość wód rz.Kłodnicy. Aby otrzymać dające się porównać wyniki, za pomocą modelu przeliczono wartości współczynników $k_{1/20^o/}$ i $k_{2/20^o/}$ odpowiednio do warunków termicznych i hydraulicznych w rzece w czasie badań weryfikacyjnych. Uwzględniając prędkość przepływu wód /V/ i głębokość /H/ w czasie tych badań, obliczono odpowiadające im wartości $k_{2/20^o/}$. Wartości te oraz wcześniej wyznaczone wartości $k_{1/20^o/}$ skorygowano odpowiednio do temperatury wody w rzece /T/, wg wzorów [7,10,13,14,15]:

$$k_{1/T/} = k_{1/20^o/} \cdot 1,047^{/T-20/}$$

$$k_{2/T/} = k_{2/20^o/} \cdot 1,0238^{/T-20/}$$

Na podstawie tych danych i wcześniej opracowanych informacji dotyczących użytkowników rzeki obliczono BZT_5 i stężenia tlenu rozpuszczonego w rz.Kłodnicy, w warunkach aktualnych w okresie badań weryfikacyjnych.

Wyniki otrzymane z badań bezpośrednich i za pomocą modelu wykazywały nieduże rozbieżności. Różnice w BZT_5 mieściły się w zakresie od -17 do +28 %. Różnice stężeń tlenu nie przekraczały +21 %, przy czym uwagę zwraca fakt, że stężenia obliczone były systematycznie wyższe od stężeń zmierzonych analitycznie. Nasuwa to przypuszczenie, że w przypadku rzek płytkich, do jakich należy badany odcinek Kłodnicy, przyjęte równanie Churchilla [1] daje nieco zawyżone wartości k_2.

9. Wyznaczenie BZT_5 i stężeń tlenu rozpuszczonego w rz.Kłodnicy przy SNQ

Podstawą do oceny zanieczyszczenia rzek są stężenia, które występują w rzece przy przepływie miarodajnym /SNQ/. Zbadanie jakości wód w rzece przy tym przepływie rzadko jest jednak możliwe i przeważnie brak jest wyników analitycznych, odpowiadających przepływom niskim. Dlatego zachodzi potrzeba określenia jakości wód za pomocą skalibrowanych i zweryfikowanych modeli matematycznych.
Do takiego celu wykorzystano model tlenowy rz.Kłodnicy.
Do programu obliczeń na emc wprowadzono następujące dane wejściowe:
- lokalizację użytkowników /km rzeki/,
- ilość i jakość wód i ścieków doprowadzanych przez użytkowników,
- współczynniki szybkości procesów tlenowych $k_{1/20^o/}$ i $k_{2/20^o/}$,
- średnie prędkości przepływu wód przy SNQ,
- jednostkowy spływ terenowy przy SNQ oraz jakość tych wód.

W wyniku obliczeń przeprowadzonych na emc "Odra 1305" otrzymano stężenia tlenu rozpuszczonego i BZT_5 wzdłuż rz.Kłodnicy w odstępach 1 km oraz powyżej i poniżej każdego użytkownika rzeki[2/].

10. Analiza wrażliwości modelu

Wyznaczone wartości liczbowe współczynników $k_{1/20^o/}$ i $k_{2/20^o/}$ dla warunków biochemicznych i hydraulicznych przewidywanych w rzece mogą być obarczone błędem. Ocenę, w jakim stopniu niedokładność tych danych wejściowych wpływa na wartości liczbowe danych wyjściowych, umożliwia analiza wrażliwości modelu.

Analizę taką wykonano przeprowadzając 8 przebiegów obliczeń komputerowych, w których zmieniano wartości współczynników $k_{1/20^o/}$ i $k_{2/20^o/}$ o $\pm$ 10 % i $\pm$ 20 %. Wyniki obliczeń wykazały, że przy zmianie wartości k_1 o $\pm$ 20 % obliczony poziom BZT_5 w rzece zmienia się o $\pm$ 2 %, a stężenia tlenu o $\pm$ 10 %.
Takie same różnice obliczonych stężeń tlenu /$\pm$ 10 %/ powoduje zmiana wartości $k_{2/20^o/}$ o $\pm$ 20 %/.

11. Podsumowanie i wnioski

Matematyczne modele zmian jakości wód w rzece w pewnym stopniu upraszczają modelowane zjawiska, co nie neguje wartości modelu, jeśli uproszczenia są kontrolowane, tzn. jeśli skutek tych uproszczeń jest znany i może być zaakceptowany. Można uznać, że model procesów tlenowych w rz.Kłodnicy, odpowiada tym kryteriom i opisuje z pożądaną prostotą i wystarczającą dokładnością analizowany system.

2/ Model wykorzystano również do opracowania prognozy stanu zanieczyszczenia wód, wyznaczenia dopuszczalnych ładunków zanieczyszczeń, opracowania koncepcji lokalizacji oczyszczalni, co z uwagi na obszerność materiałów nie mogło być tu przedstawione.

Przeprowadzone badania i obliczenia pozwoliły na wyznaczenie BZT_5 i stężeń tlenu rozpuszczonego w rz. Kłodnicy wzdłuż trasy jej przepływu od źródeł do Gliwic przy średnim niskim przepływie wód, oraz na prognozowanie zmian jakości wód Kłodnicy, wynikających z planowanych rozwiązań gospodarki wodno-ściekowej w obiektach zlokalizowanych w jej zlewni. Wykazano przy tym przydatność przedstawionych metod do matematycznego modelowania procesów tlenowych w rzekach silnie obciążonych ściekami; matematyczna formuła modelu, metody kalibracji, tok prowadzenia badań i pomiarów, opracowane i sprawdzone na przykładzie rz.Kłodnicy są obecnie stosowane [12] do innych, podobnych rzek w obszarach przemysłowych.

LITERATURA

[1] Churchill M.A., Elmore H.L., Buckingham R.A.: Prediction of Stream Reaeration Rates. Journal of Sanitary Engineering Division. Proceedings of ASCE, Vol., 88, No SA4, Paper 3199, July 1962.

[2] Findenegg I.: Die Bedeutung kurzwelliger Strahlung für die planktische Primärproduction in Seen Verh.Int.Verein. Limnol 16, 1966, 314-320.

[3] Green N.M.D.: Modelling of DO in Polluted Rivers Symposium on the Use of Mathematical Models in Water Pollution Control. U.K. Newcastle, Sept. 1973.

[4] Hahn H.H: Neckar River Models. WHO Seminar on Systems Analysis in Water Quality Management. Budapest, Febr. 1975.

[5] Kaszczyszyn Z.: Model BZT i tlenu rozpuszczonego w rzece oraz obliczenia koniecznego stopnia redukcji zanieczyszczeń dla zrzutów wzdłuż rzeki. Instytut Kształtowania Środowiska, Wrocław 1974.

[6] Mańczak H.: Zastosowanie metody statystycznej do oceny stopnia zanieczyszczenia wód rzecznych na podstawie wyników periodycznych badań wody w przekroju pomiarowo-kontrolnym. Prace IGW, t.2, z2, 1963.

[7] Mańczak H.: Techniczne podstawy ochrony wód przed zanieczyszczeniem. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1972.

[8] Masny N., Mill W.: Zastosowanie metody fluorymetrycznej do oznaczania rodaminy B jako substancji wskaźnikowej w badaniach wód. PAN Archiwum Ochrony Środowiska 227-234, 1977.

[9] Moore E.W., Thomas H.A., Snow W.B.: Simplified Method for Analysis of BOD Data. Sewage and Industrial Wastes Journal, Vol. 22 No 10, Oct. 1950, p. 1343.

[10] Nemerow N.L.: Scientific Stream Pollution Analysis. Mc Graw - Hill Book Company, New York, 1974.

[11] Rozporządzenie: Rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie klasyfikacji wód, warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki oraz kar pieniężnych za naruszenie tych warunków. Dziennik Ustaw nr 41/75 z dnia 29.XI.1975 r.

[12] Stoch A.B. i zespół: Ocena zmian ilościowych i jakościowych zasobów wód powierzchniowych. Instytut Kształtowania Środowiska. Katowice 1980.
[13] Streeter H.W., Phelps E.B.: A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River. Public Health Bulletin, No 146, 1925.
[14] Tsivoglou E.C., Wallace R.J.: Charakterization of Stream Aeration Capacity. Ecological Research Series. EPA-R3-72-012, Washington DC, 1972.
[15] Velz C.J.: Applied Stream Sanitation. Wiley, New York 1970.
[16] Vollenweider R.A., Talling J.F., Westlake D.F.: A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments. International Biological Programme Handbook no 12, London 1969.
[17] Warn A.E.: The Trent Mathematical Model. Symposium on the Use of Mathematical Models in Water Pollution Control. UK Newcastle, Sept. 1973.

STUDY OF OXYGEN PROCESSES IN THE KŁODNICA RIVER WITH MATHEMATICAL MODEL APPLICATION

S u m m a r y

The paper presents a procedure and methodology applied for calibration and verificazion of the BOD and DO model developed for the Kłodnica River.

ИССЛЕДОВАНИЯ КИСЛОРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕКЕ КЛОДНИЦЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Р е з ю м е

В реферате представлены ход работы и методы использованные для калибрации и верификации модели БПК и растворённого кислорода в реке Клодница.