

ROZPRAWA DOKTORSKA

Paweł Wilk

Metoda obliczania chłonności rzeki jako narzędzie do oceny stanu fizykochemicznego powierzchniowych wód płynących

Promotor:

dr hab. inż. Mieczysław S. Ostojki, prof. IMGW-PIB



**Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2015**

STRESZCZENIE

Celem niniejszej dysertacji było opracowanie metody obliczenia chłonności rzeki z wykorzystaniem modelu matematycznego tego procesu, a następnie jego kalibracja, weryfikacja i walidacja, która pozwalała na określenie chłonności danego odcinka rzeki, rozumianej jako wprowadzony do danego odcinka rzeki ładunek zanieczyszczeń, który nie spowoduje trwałych i nieodwracalnych zmian w ekosystemie wodnym ani zmiany klasyfikacji jakości wody w danym profilu bilansowym rzeki. Niniejsza praca obejmuje przegląd polskiej i światowej literatury opisującej stosowane modele matematyczne wykorzystywane do symulacji procesów zachodzących w wodach powierzchniowych ze szczególnym uwzględnieniem procesów składających się na samooczyszczanie.

Znajomość wielkości chłonności rzeki pozwoli podejmować takie działania, które zapobiegą degradacji jakości wody w rzece, a w konsekwencji ekosystemów wodnych i od wody zależnych, zachodzącej w wyniku działalności człowieka, czyli antropopresji. Uszczegółowienie pojęcia samooczyszczania odcinka rzeki, przez wprowadzenie pojęć ładunku granicznego (λ_g), ładunku tła (λ_{RN}) i ładunku krytycznego (λ_{KR}), pozwoliło na określenie ładunku zanieczyszczeń, jaki rzeka może przeprowadzić przez profil obliczeniowy bez wystąpienia nieodwracalnych zmian w ekosystemie wodnym i od wody zależnym. Dla zdefiniowanego pojęcia samooczyszczania rzeki, opracowano matematyczny opis tego procesu uwzględniając w nim jednostkowe procesy przemian i transportu zanieczyszczeń biologicznych, chemicznych i fizycznych od ich wprowadzenia do zlewni do dopływu do przyjętego profilu obliczeniowego. Na podstawie przyjętego opisu matematycznego tych procesów poszukiwano modelu, który w najlepszy sposób odzwierciedli procesy przemian związków azotu ogólnego, fosforu ogólnego i węgla organicznego oznaczanego jako BZT_C. Udało się rozbudowując Makromodelu DNS/SWAT opracować Makromodel DNS/SWAT-Ch, który spełnia założone wymagania. Makromodel ten skalibrowano, zweryfikowano i poddano procesowi walidacji dla zlewni Warty środkowej od profilu Nowa Wieś Podgórna do profilu Oborniki.

Kalibrację, weryfikację i walidację Makromodelu DNS/SWAT-Ch przeprowadzono dla czterech wskaźników: średniodobowego natężenia przepływu Q , średniodobowego ładunku azotu ogólnego N_{og} , fosforu ogólnego P_{og} oraz węgla organicznego oznaczanego jako BZT_C. Wykorzystano do tego trzy miary statystyczne: współczynnik determinacji (R^2), obciążenie predykcji (PBIAS) i współczynnik efektywności Nasha-Satcliffe'a (NSE). Kalibrację i weryfikację dla wszystkich czterech wskaźników przeprowadzono na profilu obliczeniowym Poznań Most-Rocha natomiast walidację przeprowadzono dla profilu Oborniki.

Uzyskane dopasowania wyników obserwacji i wyników modelowania dla okresu kalibracji, weryfikacji i walidacji dla natężenia przepływu mieszczą się w większości w przedziale wartości określanych jako „bardzo dobre”. W przypadku azotu ogólnego wyniki dopasowania obserwacji i wyników modelowania dla okresu kalibracji, weryfikacji i walidacji mieszczą się w przedziale wartości określanych jako „satisfakcjonujące” i „dobre”, natomiast dla fosforu ogólnego i BZT_C jako „niesatisfakcjonujące”. Takie wyniki dla fosforu ogólnego i BZT_C, w tym przypadku, świadczyły o występowaniu w analizowanych próbach statystycznych danych odstających, które w istotny sposób przekładały się na wyniki kalibracji, weryfikacji i walidacji. Wpływ danych odstających na dopasowanie wyników modelowania do obserwacji udało się zmniejszyć poprzez zastosowanie statystyki odpornej. Po jej zastosowaniu poprawione zostały wskaźniki dopasowania obserwacji i wyników modelowania dla okresu kalibracji, weryfikacji i walidacji azotu ogólnego z

„satisfakcjonujących” w większości na „dobre” i „bardzo dobre”. Jeszcze większą poprawę dało zastosowanie statystyki odpornej dla fosforu ogólnego, gdzie wskaźniki dopasowania obserwacji i wyników modelowania dla okresu kalibracji i walidacji poprawiły się z wartości „niesatisfakcjonujących” na „satisfakcjonujące” i „dobre”. W przypadku węgla organicznego, oznaczanego jako BZT_C , zastosowanie statystyki odpornej nie przyniosło oczekiwanego rezultatu. Wyniki dopasowania obserwacji i wyników modelowania dla okresu kalibracji i weryfikacji pozostały „niesatisfakcjonujące”. Walidacja węgla organicznego, oznaczanego jako BZT_C , nie mogła być przeprowadzona ze względu na brak wystarczającej ilości obserwacji monitoringowych. Dlatego też w pracy przedstawione wyniki analiz BZT_C należy traktować jedynie jako szacunkowe.

Zweryfikowany Makromodel DNS/SWAT-Ch posłużył do obliczenia chłonności rzeki dla średniodobowych ładunków zanieczyszczeń azotu ogólnego N_{og} i fosforu ogólnego P_{og} oraz szacunkowo dla średniodobowych ładunków zanieczyszczeń BZT_C .

W pracy została także przeprowadzona analiza wpływu najczęściej stosowanych przepływów charakterystycznych (Q_{SNQ} , $Q_{95\%}$, $7Q_{10}$) i przepływu środowiskowego wyznaczonego metodą Tennanta, na ostateczny wynik chłonności poszczególnych Jednolitych Części Wód Powierzchniowych (JCWP) Warty środkowej. Analiza ta wykazała, że im niższy przepływ charakterystyczny lub środowiskowy, tym mniejsza chłonność rzeki. Zastosowany przepływ środowiskowy (Tennanta) uwzględniający czynniki biologiczne i środowiskowe oraz dzielący rok na dwa okresy (letni i zimowy) okazał się najniższym, czyli najbardziej restrykcyjnym w okresie zimowym. Najbardziej restrykcyjnym z przeanalizowanych przepływów charakterystycznych, dla okresu całego roku, okazał się przepływ $7Q_{10}$. Najmniej restrykcyjnym, czyli o największym przepływie, okazał się najczęściej stosowany w Polsce przepływ charakterystyczny Q_{SNQ} .

Zaproponowana metoda wyznaczania chłonności zweryfikowana dla zlewni Warty środkowej jednoznacznie wskazała, że bez względu na zastosowany przepływ charakterystyczny zdecydowana większość JCWP tej zlewni uzyskała dodatni wynik chłonności dla wybranych parametrów. Analiza uzyskanych wyników pokazała, że największą antropopresję dla Warty środkowej wykazuje miasto Poznań.

ABSTRACT

The aim of this work was to develop a method for calculating river absorption capacity using a mathematical model of the process and then its calibration, verification and validation, which allowed to determine given river section absorption rate, understood as a pollution load introduced into the section of a river that will not cause either permanent and irreversible changes in the aquatic ecosystem or change of classification of water quality in the river balance sheet profile. This paper includes a review of Polish and world literature describing mathematical models used to simulate processes occurring in surface waters with special emphasis on processes involved in self-cleaning.

Knowing the rates of river absorption will allow to take actions preventing river water quality degradation, and as a result to prevent aquatic and water-dependent ecosystems affected by human activity, that is, human impact (antropopression). Refinement of the notion of self-cleaning section of the river by introducing the concepts of boundary load (GL), background load (LRN) and critical load (ŁKR) enabled to determine the pollutant load that can be carried out by a river through calculation profile without any irreversible changes in the aquatic and water-dependent ecosystems. For a defined concept of a river self-cleaning, a mathematical description of this process was developed taking into account unit processes of transformation and transport of biological, chemical and physical pollutants from their introduction into the catchment to their inflow to the adopted computational profile. On the basis of adopted mathematical description of these processes a model was searched that could best reflect transformation processes of total nitrogen compounds, total phosphorus and organic carbon denoted as BZTc. The study showed that such model did not exist. Thus, expanding the Macromodel DNS/SWAT to develop the Macromodel DNS /SWAT-Ch, which meets the assumed requirements proved successful. The said Macromodel was calibrated, verified and validated for the Middle Warta catchment from NowaWieśPodgórna to Oborniki profile.

The calibration, verification and validation of the Macromodel DNS/SWAT-Ch were carried out for four indicators: average daily flow rate Q , average daily concentrations of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and organic carbon denoted as BZTc. Three statistical measures were used: correlation coefficient (R^2), prediction load (PBIAS) and Nash-Satcliffe (NSE) performance coefficient. Calibration and verification for all four indicators were conducted on the Roch Bridge Poznan profile, while validation was performed for Oborniki profile.

Obtained match of observations and modeling results for the period of flow rate calibration, verification and validation is mostly very good. Matching results of observations and modeling for total nitrogen for the period of calibration, verification and validation are satisfactory and good, while for total phosphorus and BZTc match of observations and modeling results for the period of flow calibration, verification and validation is mostly unsatisfactory. The results for total phosphorus and BZTc indicated the presence of statistical outliers in the analysed samples, which significantly affected the results of the calibration, verification and validation. The impact of outliers on the match of modeling results and observations by using robust statistics was successfully reduced. After their application, indices of matching observations and modeling results for the period of calibration, verification and validation for total nitrogen have improved from satisfactory to mostly good and very good. Even better results were obtained in the use of robust statistics for total phosphorus, where matching observations and modeling results for the calibration and validation period improved from unsatisfactory to satisfactory and good. In the case of organic carbon denoted as

BZTc, the use of robust statistics did not bring the expected results. The match of observations and modeling for the period of calibration and verification remained unsatisfactory. Validation of organic carbon denoted as BZTc could not be carried out due to lack of sufficient monitoring data. Hence, BZTc analysis results presented in this paper should be treated only as an estimate.

Verified DNS/SWAT-ChMacromodel was used to calculate average daily river absorption of pollution loads for total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) as well as estimated amounts for average daily BZTC pollutant loads.

The study was also conducted to analyse the impact of the most commonly used flow characteristics (QSNQ, Q95%, 7Q10) and environmental flow calculated by Tennant method on the final output of the absorption of individual parts of the Uniform Surface Water Body (JCWP) of the Middle Warta. This analysis showed that the lower characteristic or environmental flow, the lower river absorption capacity. The environmental flow used by Tennant method taking into account biological and environmental factors and dividing a year into two periods: summer and winter proved to be the lowest, that is the most restrictive in winter. The most restrictive for the whole year proved to be the flow of 7Q10. The least restrictive, i.e. the highest was the most widely used in Poland QSNQ flow characteristics.

The proposed method to determine absorption verified for the Middle Warta catchment clearly stated that regardless of the applied flow characteristics the vast majority of surface water bodies of the catchment received positive absorption for selected parameters. The analysis of results indicated that the biggest source of human pressure for the Middle Warta is Poznan