

Marcin Nowak

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt.

**SZTUCZNE SIECI NEURONOWE I ALGORYTM MARS
W REGRESYJNYM MODELOWANIU ODPŁYWU ZE
ZLEWNI ZŁODOWACONYCH NA PRZYKŁADZIE RZEKI
WALDEMARA (SVALBARD)**

Summary of the doctoral thesis titled

*Artificial neural networks and MARS algorithm in regressive modelling
of the outflow from the glacierized catchments on the example
of Waldemar River (Svalbard)*

Promotor:

Dr hab. Ireneusz Sobota

Toruń 2016

Streszczenie

Numeryczne modelowanie wielkości i zmienności odpływu proglacialnego stanowi jeden z głównych wątków badawczych współczesnej hydrologii lodowców. W związku z dynamicznymi przeobrażeniami zachodzącymi współcześnie w obrębie zlewni zlodowaconych aktualne są problemy poprawnego szacowania zasobów wodnych na potrzeby zaopatrzenia w wodę pitną, dostaw wody do hydroelektrowni i nawadniania pól uprawnych. Ważnym problemem jest również poznanie wpływu procesów związanych z występowaniem i oddziaływaniem wody pochodzenia lodowcowego na dynamikę systemów glacialnych oraz bilans masy lodowców, dynamikę procesów morfogenetycznych czy charakterystykę i zmiany interakcji systemu lód-ląd-ocean.

Głównym celem pracy było wykonanie analizy przydatności sztucznych sieci neuronowych (MLP) oraz algorytmu wielozmiennej adaptacyjnej regresji wykorzystującej funkcje sklepane (MARS) w modelowaniu wielkości i zmienności średnich dobowych wartości odpływu ze zlewni Rzeki Waldemara leżącej na północno-zachodnim Spitsbergenie (Svalbard). Stanowi ona przykład niewielkiej, częściowo zlodowaconej zlewni rzecznej typowej dla warunków Arktyki. Warto nadmienić, że praca stanowi pierwszą próbę wykorzystania powyższych metod w regresyjnym modelowaniu odpływu z arktycznych lodowców. Tłem porównawczym do wykonania analizy poprawności przedstawionych technik był algorytm liniowej regresji wielokrotnej (MVR), dotychczas szeroko stosowany w opisywanym zagadnieniu.

W pierwszej części pracy dokonano wprowadzenia do zagadnień związanych ze znaczeniem poprawnych prognoz hydrologicznych w kontekście odpływu lodowcowego oraz zestawiono dotychczasowe opracowania z tego zakresu tematycznego.

W kolejnej części pracy przedstawiono charakterystykę obszaru i wykorzystanych metod badań. Zebrany w trakcie sezonów letnich 2010, 2011 oraz 2012 r. materiał badawczy składał się z hydrometeorologicznych ciągów pomiarowych dobowych wartości natężenia przepływu Rzeki Waldemara oraz wybranych parametrów meteorologicznych. Został on opisany w kontekście jego adekwatności do przeprowadzenia modelowania regresyjnego. Wskazano, że nie spełnia on wstępnych założeń poprawnej konstrukcji równań MVR. W odniesieniu do alternatywnych względem MVR metod MLP i MARS opisano zarówno teoretyczne podstawy funkcjonowania każdego z wykorzystanych algorytmów, jak i praktyczne aspekty ich wdrożenia. Zwrócono przy tym uwagę na szereg czynności optymalizacyjnych, które mogą znacząco wpłynąć na poprawność otrzymanych wyników oraz wskazano najbardziej optymalne rozwiązania. Poszczególne modele odpływu stworzono na podstawie danych pochodzących z sezonów letnich 2010 i 2011 r. W odniesieniu do

charakteru i zakresu zmiennych wejściowych każdego z algorytmów, modele podzielono na dwie grupy: grupę pierwszą, w obrębie której zmiennymi wejściowymi były jedynie wybrane parametry meteorologiczne oraz grupę drugą, gdzie dodatkowo uwzględniono również średnie natężenie przepływu rzecznego w dniu poprzedzającym dzień modelowany.

Ostatnią część pracy poświęcono numerycznej i graficznej analizie poprawności wyników otrzymanych za pomocą metod MLP, MARS i MVR oraz dyskusji. Założono ocenę dwuetapową, na którą składała się weryfikacja wewnętrzna (opartą na materiale kalibracyjnym) oraz weryfikację zewnętrzną (opartą na danych z sezonu letniego 2012 r., które nie były brane pod uwagę przy konstrukcji poszczególnych modeli). Wykazano, że nieliniowe modelowanie regresyjne realizowane z wykorzystaniem metody MLP daje najbardziej poprawne rezultaty w obydwu grupach stworzonych modeli. W odniesieniu do prostoty techniki MLP (większość obliczeń realizowana była automatycznie w obrębie wykorzystanego oprogramowania) oraz zadowalających rezultatów stwierdzono, że stanowi ona cenną alternatywę dla stosowanej dotychczas techniki MVR.

Summary

Numerical modelling of the proglacial outflow is one of the main research topics of modern glacial hydrology. Due to the dynamic changes taking place in glacierized catchments, the most important issues are the correct estimation of drinking water resources, water supply for hydroelectricity and for irrigation. An important issue is also to investigate the effects of proglacial rivers on the dynamics of glacial systems and mass balance of glaciers, the dynamics of morphogenetic processes or changes in the characteristics and interactions of the ice-land-ocean system.

Main aim of the work was to perform the analysis of the suitability of artificial neural networks (MLP) and multivariate adaptive regression splines (MARS) techniques for modelling of the daily values of outflow from the Waldemar River catchment. It is located on the north-western Spitsbergen (Svalbard) and constitutes the example of the small, partly glacierized river basin typical for that part of Arctic. It is worth noting that the presented work is the first attempt to apply the aforementioned methods in regressive modelling of the outflow from Arctic glaciers. Comparative background of the MLP and MARS efficiency was the linear multivariate regression technique, so far widely used in described issue.

The first part of the thesis constitutes the introduction to the importance of correct hydrological forecasting of the glacial runoff and the review of the previous works focused on the analyzed problem.

In the next part of the work the description of the research area and the modelling methods has been made. The study material was collected in the summer seasons of 2010, 2011 and 2012 and it constitutes of hydrometeorological data of daily values of the Waldemar River discharge and the selected meteorological parameters. It has been described in the light of its adequacy to perform regression modelling. It was indicated that the collected data does not fulfill the requirements of the proper MVR models construction. The alternative techniques of MLP and MARS were described in the light of theoretical aspects of their functioning and practical issues of their implementation. A lot of attention has been paid here to the optimization tasks, which can affects the results significantly. Also, the optimal solutions have been identified. Several runoff models were constructed based on the data from summer seasons of 2010 and 2011. Due to specific character of the data, two groups of models were established: the first was based on meteorological inputs only, while the second included also the preceding day's mean discharge.

The last part of the work was devoted to the numerical and graphical analysis of the MLP, MARS and MVR techniques correctness and the results discussion. Two-step evaluation has been used. It consisted of the internal evaluation (based on the calibration data) and the

external evaluation (based on the data from summer season of 2012, which has not been used in models construction and optimization). The performed study showed that the nonlinear regressive modelling realized by the MLP gives the most accurate results in both groups of models. In relation to the simplicity of the MLP implementation (most calculations were made automatically by the software) and its satisfactory results, it was found that it is a valuable alternative to previously used MVR technique.