

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr. Marcina Nowaka
pod tytułem
„Sztuczne sieci neuronowe i algorytmy MARS
w regresyjnym modelowaniu odpływu ze zlewni
złodowaconych na przykładzie rzeki Waldemara
(Svalbard)”

Rozpoznanie realiów środowiskowych zrównoważonego bilansu hydrologicznego stanowi w obecnych czasach jeden z najbardziej istotnych problemów rozważanych w kontekście przyszłości rozwoju cywilizacyjnego na Ziemi. Stały wzrost zapotrzebowania na wodę, zarówno biorąc pod uwagę uwarunkowania przyrodnicze jak i gospodarcze, rodzi potrzebę racjonalnego podejścia do jej użytkowania, którego nieodłącznymi składnikami są możliwość jak najdokładniejszego szacowania zasobów oraz przewidywanie zmian następujących w dynamice składowych cyklu hydrologicznego. Poszukiwanie metod estymacji poszczególnych składników bilansu wodnego oraz identyfikacja czynników wpływających na ich zmienność staje się „palącym” zadaniem tak dla praktyków, przedstawicieli ośrodków politycznych i decyzyjnych stanowiących o ochronie i wykorzystaniu zasobów naturalnych jak i ważnym celem dla nauki, na rzetelnych fundamentach której, jak byśmy chcieli, aby opierały się podstawy zrównoważonego rozwoju wszelkiej ludzkiej działalności. Ocenie poszczególnych elementów bilansu hydrologicznego służą coraz bardziej zaawansowane narzędzia badawcze, do których w ostatnich dekadach zalicza się modelowanie matematyczne, zdobywające słusznie coraz szersze pole zastosowań, wraz ze wzrostem dostępności, mocy i sprawności technik obliczeniowych.

Istotnym składnikiem równania bilansu hydrologicznego jest wartość odpływu, wyrażająca dynamikę obiegu wody jako funkcję uwarunkowań środowiskowych, powiązanych zarówno z czynnikami meteorologicznymi jak i geologicznymi. Wyjątkowym przypadkiem regionalnym, w którym zagadnienie zasilania systemu rzeczno-łódzkiego łączy się z uruchamianiem odpływu nie za pomocą różnicowania migracji fazy ciekłej lecz zmian fazowych zachodzących pod wpływem oddziaływań termicznych, są systemy zlodowacone i o ile zaawansowane metody modelowania matematycznego okrzepły w badaniach fluwialnych powiązanych z obszarami w których przeważają reżimy pluwalne, są one jak dotąd w bardzo niewielkim stopniu wykorzystywane do określania natężenia odpływu z dominacją procesów ablacyjnych mas lodowcowych i wieloletnich pokryw śnieżnych. Za takie złożone procedury można uznać algorytmy regresyjne bazujące na jednokierunkowych sztucznych sieciach neuronowych czy wielozmiennej adaptacyjnej regresji z użyciem funkcji sklepanych, wykorzystane przez mgr. Marcina Nowaka do konstruowania modeli odpływu ze zlodowaconej zlewni rzeki Waldemara położonej na północno-zachodnim wybrzeżu wyspy Spitsbergen w archipelagu Svalbard. Niewątpliwą zasługą Doktoranta jest dostrzeżenie wspomnianej luki w systemie wiedzy, polegającej na pomijaniu w dotychczasowych badaniach i ich prezentacji zastosowania bardziej złożonego toku postępowania opartego o ścisłe reguły, w studiowaniu relacji hydrologicznych obszarów zlodowaconych. Waga badań jest tym większa, że odnosi się do systemów będących największym rezerwuarem wód słodkich na Ziemi, rozwijając jeden z kierunków prowadzących do ich racjonalnej oceny w reakcji na dynamicznie zachodzące w kriosferze reakcje na zmiany środowiskowe.

Przedstawiona rozprawa doktorska liczy 107 stron i składa się z dziewięciu rozdziałów, spisu literatury, tabel i rycin. W całej pracy Autor konsekwentnie realizuje założony cel, przedstawiony we wstępie oraz rozdziale 3, dotyczący zbadania możliwości wykorzystania sztucznych sieci neuronowych oraz wielozmiennej adaptacyjnej regresji funkcji sklepanych w matematycznym modelowaniu dobowych wartości odpływu z częściowo zlodowaconej zlewni górskiej na przykładzie rzeki Waldemara (Spitsbergen Zachodni, Svalbard). Konsekwencją takiego założenia jest poświęcenie znacznej części, bo ponad 35% objętości pracy (rozdziały 2 i 6), omówieniu zagadnień modelowania. Jest to niewątpliwie potrzebne ze względu na

niełatwy tok rozumowania przedstawiony czytelnikowi i wdrożenie go w zawilości zaawansowanej procedury obliczeniowej z pogranicza matematyki i statystyki oraz uwarunkowań przyrodniczych, jednakowoż przesuwając środek ciężkości rozważań w dysertacji na stronę metodyczną, wykorzystując doświadczenia i materiał dokumentacyjno-komputacyjny pozyskany w oparciu o działalność ekspedycyjną na Stacji Polarnej Uniwersytetu Mikołaja Kopernika na równinie Kaffiøyra na Spitsbergenie. Jakkolwiek formalnie taki tok postępowania trzeba uznać za prawidłowy, wskazujący na całą różnorodność procedury przeprowadzonej z dużą uwagą i dokładnością wykonanych obliczeń, w zakresie metodologicznym należałoby zwrócić uwagę na ograniczenie przedstawienia w rozdziale 3 (Cel i zakres pracy) celów cząstkowych i zadań badawczych składających się na tok postępowania Autora, wskazującego jednocześnie na elementy konstrukcji modeli jako swoiste założenia, na których budowany jest proces badawczy. Wiążąc mimo to cele teoretyczno-wyjaśniające oraz merytoryczne, do których odnosi się treść pracy, za wielki atut prezentowanego podejścia uznać należy odniesienie się do możliwości stosunkowo łatwego pozyskania danych wejściowych z coraz powszechniej stosowanych automatycznych stacji meteorologicznych, których sieć rozwija się nawet w trudnodostępnych obszarach górskich i polarnych, a także dalszego przetwarzania wyników w oparciu o standardowe oprogramowanie dostarczane wraz z popularnymi pakietami obliczeniowymi, nie wymagające znajomości zaawansowanych technik informatycznych. Taki sposób realizacji postępowania badawczego gwarantuje możliwość szerszego zastosowania tak w aspekcie czysto hydrologicznym, jak szerzej hydro-glacjo-geomorfologicznym, do promowania którego, poprzez kontakty wśród badaczy wymienionych procesów, recenzent zachęca, deklarując jednocześnie współpracę z wykorzystaniem własnych materiałów.

W rozdziale 4 Autor przedstawia obszar badań, z którego pozyskane zostały materiały terenowe stanowiące wejście dla konstruowanych modeli. Są to okolice dobrze rozpoznane pod kątem regionalnym i w zakresie wieloletnich ciągów obserwacyjnych przez kolegów z ośrodka toruńskiego. Z punktu widzenia prowadzonej analizy oraz wiedzy na temat procesów zachodzących w środowisku należy wyrazić zadowolenie odnośnie możliwości oparcia się na tak bogatych doświadczeniach oraz zebranych materiale, którego braki często stanowią

przeszkodę w realizacji projektów w obszarach polarnych, zwłaszcza o charakterze monitoringowym, ze względu na ograniczenia czasu prowadzenia badań terenowych w trudnych warunkach ekspedycyjnych. Stosunkowo mało miejsca w tej części poświęcił Doktorant charakterystyce zmian środowiskowych wynikających z powszechnej na Svalbardzie recesji lodowców, wskazując na główne przeobrażenia rzeźby (co za tym idzie również sieci hydrograficznej, a także długoterminowe zmiany w wielkości i charakterze odpływu), wynikające z wytapiania się brył pogrzebanego lodu i kształtowania stref fluwioglacjalnych (str. 16, w. 18-22), nie rozwijając w dalszej części tego zagadnienia. Rozdział 5 poświęcono metodom badań, dzieląc je na część terenową oraz obliczeniową, a także przeprowadzając ocenę materiału badawczego w kontekście przydatności dla prowadzonych analiz. Jednym z kluczowych stwierdzeń pojawiających się na tym etapie, a niosącym konsekwencje dla dalszego postępowania jest zdefiniowanie charakterystyki ciągów pomiarowych i ich przydatności dla dalszego postępowania w założonych procedurach o charakterze nieparametrycznym, czego nie można było uzyskać biorąc pod uwagę inne metody statystyczne, potwierdzając jednocześnie słuszność przyjętych w pracy nowatorskich założeń. Rozwijane są one w rozdziale 6, dotyczącym charakterystyki wykorzystanych metod modelowania. Modele podzielone są ze względu na zastosowane procedury jak i zakres danych wykorzystanych do obliczeń, a za wyjątkowo cenne należy uznać optymalizowanie każdej z nich oraz przeprowadzenie z dużą starannością procedury weryfikacji wyników modelowania podzielonej na weryfikację wewnętrzną oraz zewnętrzną, opartą o odmienne zbiory danych jak i badanie wrażliwości modeli pozwalające na wykrycie istotności wpływu poszczególnych zmiennych na ostatecznie uzyskiwany wynik. Przedstawienie założeń każdego kroku badawczego zostało opisane w sposób klarowny i przygotowuje czytelnika do śledzenia wyników zawartych w rozdziale 7, gdzie po przeprowadzeniu procedury weryfikacji wewnętrznej wyłoniono modele o najwyższej poprawności odwzorowania i skonfrontowano je z niezależnymi obliczeniami wziętymi pod uwagę w trakcie weryfikacji zewnętrznej. Zgodnie z wcześniejszą zapowiedzią na drodze obliczeniowej jak i prezentacji graficznej dokonano analizy wrażliwości poszczególnych modeli wskazując na ważność każdej ze zmiennych i jej wpływ na wyniki modelowania natężenia przepływu. Siłą rzeczy, ze względu na brak materiału porównawczego w postaci innych badań tego typu, w dyskusji

przeprowadzonej w rozdziale 8 dokonano przede wszystkim porównania poprawności wykorzystanych metod wskazując na te oparte o algorytmy nieliniowe sztucznych sieci neuronowych (MLP), jako najlepiej oddające charakter i wielkości odpływu badanego obiektu, którym była rzeka Waldemara. Pewnym uogólnieniem może tutaj być stwierdzenie Autora, wyrażane w oparciu o literaturę, iż metody MLP nadają się szczególnie do modelowania procesów hydrologicznych zachodzących w zlewniach zlodowaconych ze względu na znaczną złożoność ich struktury oraz skomplikowany, niejednorodny układ danych, branych pod uwagę przy analizie. Ostateczne wnioski z pracy (rozdział 9) podsumowują w syntetyczny sposób przeprowadzony tok postępowania, jak już zaznaczono wcześniej, nowatorski w odniesieniu do obiektu badań, umożliwiając powtarzalność zastosowanej procedury, bądź wprowadzenie niewielkich modyfikacji na etapie dalszego jej rozwijania. Takimi zadaniami może być obserwacja uszczegółowionej reakcji zlewni na impulsy meteorologiczne i wprowadzenie korekty uwzględniającej ten element w odpływie kolejnych dni z jednoczesnym wypracowaniem modelu dobowego funkcjonowania odpływu w celu uszczegółowienia obliczeń na podstawie znajomości krótkookresowych relacji obiegu wody w systemie lodowcowym.

Praca mimo swojej skomplikowanej treści merytorycznej, angażującej aparat pojęciowy wykraczający poza standardy opisu i wnioskowania z zakresu terenowych badań eksperymentalnych o charakterze przyrodniczym, napisana jest w sposób przystępny i jasny, a przede wszystkim noszący znamiona wysokiej staranności o zawarty przekaz dokumentacyjny i przedmiotowy. Niewiele można wskazać błędów o charakterze formalnym czy redakcyjnym, które jednocześnie nie wpływają na całościową bardzo pozytywną ocenę tekstu. Spis sugerowanych korekt przedstawiony został w aneksie do niniejszej recenzji. Ich poprawa może zostać uwzględniona przy oddawaniu rozprawy do druku, jakkolwiek publikację dla szerszego kręgu odbiorców lepiej byłoby przygotować po odpowiednim przeredagowaniu w formie artykułów skierowanych do czasopism o zasięgu międzynarodowym.

W imponujący sposób przedstawia się spis cytowanej literatury zawarty w opracowaniu, nie tylko ze względu na liczbę przytoczonych pozycji (166), ale także biorąc pod uwagę ich charakter, niejednokrotnie odnoszący się do teorii i zastosowań modelowania matematycznego, uwzględniający zróżnicowanie zjawisk

przyrodniczych towarzyszących procesom zlewniowym, w szczególności w obszarach polarnych, a także dokumentujący szeroko dokonania polskich badaczy w tym zakresie. Jest to zbiór na wskroś nowoczesnej bibliografii, gdyż 60% pozycji powstało od roku 2000. Przy takim zakresie nie sposób uniknąć drobnych błędów, pominięć lub zmian kolejności, które zostały również wskazane w aneksie.

Podsumowując, biorąc pod uwagę odkrywcze elementy przedstawionej rozprawy, zakres jej opracowania i oryginalność sformułowanych wniosków uważam, że rozprawa doktorska mgr. Marcina Nowaka pt. *„Sztuczne sieci neuronowe i algorytmy MARS w regresyjnym modelowaniu odpływu ze zlewni zlodowaconych na przykładzie rzeki Waldemara (Svalbard)”* spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim. Wnoszę o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie uwzględniając nowatorskie podejście metodyczne, szeroki zakres przeprowadzonych prac, staranność opracowania zebranego materiału, a przede wszystkim wartość naukową dokonanej analizy i jej osadzenie w istotnym nurcie badawczym, nawiązującym do śledzenia zachodzących globalnie zmian środowiskowych, zwracam się do Wysokiej Rady Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu o rozpatrzenie możliwości wyróżnienia recenzowanej przeze mnie dysertacji.



Grzegorz Rachlewicz

Aneks do recenzji rozprawy doktorskiej mgr. Marcina Nowaka pt. „Sztuczne sieci neuronowe i algorytmy MARS w regresyjnym modelowaniu odpływu ze zlewni zlodowaconych na przykładzie rzeki Waldemara (Svalbard)”, zawierający poprawki i sugestie zmian tekstu rozprawy

Strona 8, wers 29: Hock i Jansson (2006) – brak w spisie literatury.

Strona 12: w tabeli na pierwszy rzut oka dwukrotnie występuje symbol „R” oznaczając różne elementy, z których jeden nie został objaśniony (R jak lod. Roseg?).

Strona 13, wers 2 od dołu: „...często stosowaną **w** zagadnieniach...”

Strona 20, wers 7: „Powierzchnia **zlewni** Rzeki Waldemara...”

Strona 23, wers 7: „...uczestniczą one w transporcie większości odpływu...” *transport odpływu?* – niejasne.

Strona 23, wers 11: „...płata nalodzi lodowcowej...”

Strona 25, wers 4: nie wyjaśniono, co stanowi pozostały procent odpływu.

Strona 26, wers 2-1 od dołu: Sobota i Lankauf, 2010 – brak w spisie literatury.

Strona 31, wers 18: jest „Shapiro-Wilk’a” powinno być „Shapiro-Wilka” – apostrof w języku polskim służy do oznaczenia, że litery przed nim (najczęściej samogłoski) się nie wymawia (zatem „Wilka” ale „Morse’a”). Błąd występuje wielokrotnie dalej w pracy, również przy innych nazwiskach.

Strona 37, wers 8: Gupta i in., 2000 – brak w spisie literatury.

Strona 42, wers 6: Soczyńska, 1997 – brak w spisie literatury lub błędny rok (1995?).

Strona 45, wers 5 (także str. 46, w. 4): słowo „bias”, które w użytym kontekście to „systematyczny błąd”, w języku polskim ma znaczenie w nomenklaturze humanistycznej, pojmowane jako „społeczne i ideowe przekonania nieuświadomiane przez badacza” i w elektronice „niezerowa wartość (napięcia lub prądu) w różnych punktach układu elektronicznego w celu zapewnienia poprawnej pracy”, zatem lepiej zastosować polski zamiennik w miejsce anglicyzmu.

Strona 54, wers 1: Wolfe 2000 – brak w spisie literatury.

Strona 54, wers 14: „...byłoby zmierzenie nieskończonej liczby obserwacji...” niezręczne, chyba lepiej „...byłoby wykonanie nieskończonej...”

Strona 56, wers 15: „...natężenia **przepływu** Rzeki Waldemara...”

Strona 57, wers 5 od dołu: „...z zakresu od $-\infty$ (**brak dopasowania**) do 1 (dla idealnego...”

Strona 64, wers 17: „...natężenia **przepływu** z dnia...”

Strona 82, pod tabelą: zamiast „rozd. 5.4” powinno być „rozd. 6.4”; zamiast „rozd. 6.2” powinno być „rozd. 7.2”

Strona 84, wers 22: „W praktyce tworzą oraz kalibrują się samodzielnie...” niezrozumiałe zdanie, może zbyt daleko idący skrót myślowy?

Strona 85, wers 9 od dołu: „...w roku 2012 była wykroczała poza zakres...”

Strona 89: pozycje „Bedyńska...” niealfabetycznie.

Strona 92: pozycja Hock i in., 2005 nie występuje w tekście (może chodzi o Hock i Jansson, 2006, która z kolei jest w tekście, a brak w spisie?)

Strona 94: Marszelewski, 1987, czy to też nie jest zacytowana na str. 8 pozycja „Marszelewski, 1980”?

Strona 100: „Szafraniec...” niealfabetycznie.

