

dr hab. Edmund Tomaszewski, prof. nadzw. UŁ  
Pracownia Hydrologii i Gospodarki Wodnej  
Wydział Nauk Geograficznych  
Uniwersytet Łódzki  
ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź

Łódź, dn. 7 grudnia 2017 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**Pana mgr. Abd Alsalama Mohammeda Maila**  
**pt. „*Assessment of Drought Conditions and their Impacts on the Environment***  
***of the Udham River Basin, Iraq*”**

**1. Charakterystyka formalna rozprawy**

Recenzja została wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego Pana prof. dr. hab. Macieja Jędrusika z dnia 2 listopada 2017 r. Promotorem rozprawy jest Pani dr hab. Urszula Somorowska, prof. UW. Praca została wykonana w Zakładzie Hydrologii, Katedry Geografii Fizycznej na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego.

Rozprawa zawiera 101 stron tekstu, na który składa się 6 rozdziałów. Opracowanie uzupełnia 14 tabel, 30 rysunków (wykresy, mapy, diagramy) oraz 9 fotografii, wykonanych przez Autora. Na końcu pracy zamieszczono 18 załączników, stanowiących dość obszerne zestawienia tabelaryczne. W wykazie publikacji znajdują się 82 pozycje literatury, wszystkie w języku angielskim.

**2. Trafność wyboru tematu**

Problem występowania suszy na świecie oraz wywoływanych przez nią skutków przyrodniczych i społeczno-gospodarczych nabiera coraz większego znaczenia. Wprawdzie sumaryczna objętość wody na Ziemi jest stała, jednak zwiększająca się w ostatnich latach, dynamika oraz częstotliwość hydrologicznych zjawisk ekstremalnych utrwała pewien porządek przetrzenny – wewnątrz kontynentów nawiedzane są suszami, wybrzeża zaś powodziąmi. Oznacza to, iż na terenach już dotkniętych poważnym deficytem wody, niedobór jej zasobów będzie stale się powiększał. Dotyczy to zwłaszcza obszarów położonych w strefach zwrotnikowych.

Rozwój metod oceny suszy w różnych jej stadiach zaowocował w ostatnich latach liczną grupą stosunkowo prostych w konstrukcji wskaźników, odzwierciedlających różne aspekty i właściwości okresów niedoboru zasobów wodnych. Mogą one bazować na przetwarzaniu hydrometeorologicznych ciągów pomiarowych pochodzących ze stacji naziemnych, jak również wykorzystywać dane teledetekcyjne z obrazów satelitarnych. Rodzi to możliwość oceny rozwoju suszy i jej skutków na obszarach z niewielką liczbą posterunków pomiarowych lub ich brakiem.

Zatem wybrany zakres badań oraz położenie obszaru (zlewni) z punktu widzenia warunków klimatycznych oraz stosunkowo ubogiej sieci monitoringu hydrosfery uważam za bardzo trafny. Ponadto, wiele wyników opracowania może mieć charakter aplikacyjny lub stanowić podstawę do dalszych, specjalistycznych dokumentacji i ekspertyz, zwłaszcza w przypadku wdrażania programów rozwoju gospodarki wodnej na omawianym obszarze.

### **3. Cele, hipotezy i struktura pracy**

Postawiony przez Doktoranta cel pracy ma charakter kompleksowy, gdyż obejmuje poszerzenie wiedzy o rozwoju suszy w zlewni (zdominowanej różnymi odmianami klimatu suchego) mierzonej w różnych skalach czasowych, jak również ocenę wpływu suszy na kształtowanie zasobów wodnych w ujęciu ilościowym i jakościowym oraz na degradację gleb.

Cel główny został wsparty przez 5 jasno zdefiniowanych celów szczegółowych, dotyczących oceny przestrzennej i czasowej zmienności wybranych charakterystyk hydroklimatycznych, w tym wskaźnika SPEI (Standardized Precipitation Evaporation Index) przyjętego za estymator rozwoju i natężenia suszy (w Polsce wskaźnik ten znany jest pod nazwą standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego), identyfikacji istotnych statystycznie, systematycznych składowych w szeregach czasowych wskaźnika SPEI, oceny warunków wegetacyjnych sezonu letniego i określenia stopnia degradacji gleb przy użyciu technik teledetekcyjnych, wykrycia wpływu suszy na kształtowanie przepływu rzeczno i zmian jakości wody. Poszczególnym celom szczegółowym towarzyszą hipotezy badawcze, zweryfikowane w toku opracowania.

Układ pracy jest przejrzysty, a jej struktura poprawna. Rozdział 1 zawiera wprowadzenie w zasadniczą tematykę rozprawy, ocenę środowiskowych i społecznych skutków rozwoju suszy oraz kilka uwag na temat problemów środowiskowych Iraku. Autor przytacza za Wilhitem i Glantzem, powszechnie przyjęty schemat rozwoju suszy i omawia najważniejsze jej

etapy. Dokonuje również charakterystyki dwóch, bardzo popularnych wskaźników suszy, bazujących na zmienności opadów atmosferycznych (SPI, SPEI), omawiając ich podstawowe właściwości i wskazując na możliwości aplikacyjne, zarówno w aspekcie czasowym, jak i przestrzennym oraz posiłkując się przykładami z literatury przedmiotu. Moim zdaniem zabrakło w tym podrozdziale nieco szerszego omówienia i porównania prezentowanych miar z kilkoma innymi wskaźnikami szeroko rozumianej suszy agrometeorologicznej (np. EDI, CDI, PDSI, CMI, RPI itp.), co być może pozwoliłoby na lepsze zrozumienie właściwości analizowanych charakterystyk i poszerzenie zakresu wnioskowania w rozdziałach aplikacyjnych. W omawianym rozdziale przedstawiony został również obiekt badawczy, jakim jest zlewnia Udhaime, lewo-brzeżnego dopływu Tygrysu, zajmująca powierzchnię 12495km<sup>2</sup>. Poza położeniem geograficznym i charakterystyką hydrograficzną, Doktorant przedstawił kilka uwag na temat głównego obiektu wodnogospodarczego w zlewni – zbiornika zaporowego Udhaime o średniej powierzchni lustra wody wynoszącej 120km<sup>2</sup>. Omówione zostały jego funkcje, zarówno te już pełnione, jak i dotąd nie zrealizowane oraz wpływ jaki wywiera na środowisko. Prezentowany rozdział zawiera również przegląd literatury. W końcowej części rozdziału przedstawiono, omówione powyżej, cele i hipotezy badawcze.

W rozdziale 2 dość szeroko zaprezentowano metodykę analizy suszy. Przedstawiono statystyczne metody analiz szeregów czasowych oraz procedury przetwarzania danych przestrzennych. Zdefiniowano cechy okresu badawczego, właściwości źródeł danych oraz strukturę baz, z których je czerpano.

Rozdział 3 zawiera szczegółowy stan środowiska geograficznego badanej zlewni, zarówno z punktu widzenia zjawisk i procesów fizycznogeograficznych, jak i kierunków działalności człowieka wywierającej presję na to środowisko. Prezentowane w tym rozdziale wyniki są w większości efektem własnych obliczeń Doktoranta. Zasadnicza uwaga została poświęcona zagadnieniu topografii, pokrycia i użytkowania terenu, ocenie charakterystyk klimatycznych, identyfikacji zasobów wód powierzchniowych oraz głównym cechom osadnictwa i gospodarki rolnej.

Zasadnicze dla rozprawy są rozdziały 4 i 5, w których przeprowadzona została szczegółowa i wieloaspektowa analiza dynamiki i właściwości susz rozwijających się w badanej zlewni oraz ich skutków środowiskowych i implikacji socjoekonomicznych. Pracę kończy rozdział 6, zawierający wnioski i rekomendacje.

#### 4. Uwagi szczegółowe

Doktorant wybrał do analizy okres pomiarowy, obejmujący lata 1980-2010, słusznie argumentując, iż występują w nim serie lat suchych i wilgotnych, co umożliwi ocenę rozwoju suszy w pełnym spektrum warunków wilgotnościowych. Podstawowe serie gridowe danych hydroklimatycznych pobrane zostały z bazy Climatic Research Unit, zaś w przypadku standaryzowanego klimatycznego bilansu wodnego posłużono się bazą global SPEIbase. W oparciu o węzły siatki występujące w zlewni i jej otoczeniu, dokonano jej podziału na pola elementarne w oparciu o metodę wielokątów de Thiessena, gdzie wartość parametru uzyskaną lub obliczoną dla węzła siatki przypisywano powstałej komórce gridowej.

Analiza danych klimatycznych (opad, temperatura, ewapotranspiracja potencjalna) została przeprowadzona poprawnie (rozd. 3.2.). Autor dokonał zestawienia danych w tabelach i na wykresach dla pojedynczych komórek gridowych, dla grup komórek układających się w pasy równoleżnikowe oraz dla całej zlewni (średnia ważona). W podobnym układzie zaprezentowano wyniki dotyczące wskaźnika SPEI (rozd. 4.1.). Charakterystykę tę przedstawiono dla różnych okresów uśredniania: od 3 do 24 miesięcy. W efekcie przeprowadzonej analizy Doktorant zidentyfikował okresy o dużym natężeniu suszy oraz ocenił związek między stopniem surowości suszy i długością okresu uśredniania wskaźnika. Wykazał również, że czynnik opadowy jest główną determinantą zmienności indeksu SPEI, a warunki ewapotranspiracyjne odgrywają w tym przypadku drugorzędne znaczenie. Ponadto wykrył, iż w układzie sezonowym, surowe susze mogą występować w każdym miesiącu roku hydrologicznego (rozd. 4.2.). Szkoda, że nie poddano ocenie stopnia zmienności wieloletniej natężenia suszy, mierzonej choćby współczynnikiem zmienności Pearsona. Dałoby to zdecydowanie szerszy obraz dynamiki badanego zjawiska.

Identyfikacja systematycznej składowej w wieloletnich szeregach wartości SPEI oparta została o analizę trendu liniowego (rozd. 4.3.). Doktorant przyjął istnienie statystycznie istotnej tendencji na poziomie 95%, a samo testowanie oparł o statystykę Manna-Kendalla. Badanie statystyczne zostało przeprowadzone poprawnie, jednak interpretacja uzyskanych wyników budzi w niektórych miejscach pewne wątpliwości. Doktorant pisze o wykrytych trendach i „sygnałach”, przy czym te drugie to po prostu trendy nieistotne statystycznie. Należy pamiętać, że trend nieistotny nie istnieje, lub inaczej, jego wiarygodność jest tak mała, że każda następną wartość w szeregu może zmienić znak współczynnika kierunkowego. Zatem można byłoby przyjąć, że owe sygnały występują przy istotności np. 95%, a mocne (wia-

rygodne) trendy charakteryzuje poziom istotności 99%. Przyjmowanie trendów nieistotnych zaprzecza sensowi przeprowadzonego testowania. W konsekwencji można zauważyć, że nie ma permanentnej tendencji do zwiększania stopnia surowości suszy. Dotyczy ona wybranych miesięcy oraz wartości rocznych przy dużym interwale uśredniania. Na przedstawionych wykresach 4.1-4.7 w wieloletnim przebiegu wartości SPEI widać, iż składowa oscylacyjna (fluktuacyjna) jest znacznie wyraźniejsza niż trend liniowy. Ponadto, należy zauważyć, że agregacja wskaźników do interwału 2-letniego (SPEI-24) w serii 31-letniej już sama w sobie narzuca pewne cechy współzmienności, co skutkuje istotnymi trendami przy długich czasach uśredniania wskaźnika; przy wskaźnikach 3-miesięcznych nie wykryto żadnych istotnych statystycznie trendów. Szkoda, że Autor nie policzył współczynnika determinacji, który pozwoliłby ocenić i zwaloryzować stopień wyjaśniania obserwowanej zmienności istnieniem linii trendu. W tabeli 4.2 pojawił się poziom istotności wynoszący 100%. Zakładam, że jest to efekt zaokrąglenia wykonanego przez arkusz kalkulacyjny i nieskorygowany przez Autora.

Model terenu zlewni został skonstruowany w oparciu o dane z the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Ocena pokrycia i użytkowania terenu zlewni oraz jej zmian wykonana została w oparciu o obrazy satelitarne z 2007 i 2015 r. (Landsat 5 TM, Landsat-8 OLI). Zmiany te oceniane były w 5 klasach reprezentowanych przez wskaźniki różnicowe opisujące pokrywą roślinną, stopień urbanizacji, wody powierzchniowe oraz właściwości i przydatność gruntów (NDVI, NDBI, NDWI, NDBal, CI). Algorytm przetwarzania map progowych wartości obliczonych wskaźników na mapy binarne został już wcześniej opracowany przez Doktoranta i opublikowany w czasopiśmie z listy B MNiSW. W efekcie zastosowanej procedury Autor wskazał na kierunki, tempo i obszary przemian, manifestujące się głównie wzrostem obszarów zurbanizowanych, spadkiem terenów z pokrywą roślinną i wodami powierzchniowymi oraz degradacją gleb (rozd. 5.1.). Na uwagę zasługuje wielowątkowa analiza, wskazująca na determinanty obserwowanych zmian związane z różnymi warunkami hydrometeorologicznymi na początku i końcu okresu, przemianami demograficznymi, skutkującymi nasileniem urbanizacji, zaniedbaniami w gospodarce wodnej oraz działaniami wojennymi (ISIS), w efekcie których doszło do porzucania gospodarstw wiejskich i zaniechania zabiegów agrotechnicznych. Doktorant zwrócił w tym kontekście uwagę na znaczenie zbiornika Udhaim oraz konieczność wprowadzania nowoczesnych metod agrotechnicznych, w tym melioracyjnych, które mogłyby zatrzymać postępujący proces pustynnienia i degradacji środowiska zlewni.

Przy ocenie zasobów wód płynących Doktorant dysponował jedynie serią pomiarową średnich miesięcznych przepływów (1980-2010) monitorowanych na posterunku wodowskazowym przy zaporze Udham. W rozdziale 3.3. Autor dokonał oceny wpływu zapory na zmianę reżimu odpływu, poprzez porównanie rozkładu średnich miesięcznych przepływów z okresu przed i po wybudowaniu zapory. W prawdzie w tekście (str. 43) błędnie opisuje On okres 1980-2002, jako ten po wybudowaniu zapory, jednak już na rys. 3.7 opis jest prawidłowy. Interpretacja dotycząca wyrównania przepływów po wybudowaniu zapory jest właściwa, jednak należy zauważyć, że okres wzrostu przepływów ma miejsce od maja do października, a nie jak pisze Autor: od maja do września. Analizując wykres 3.7 Doktorant podkreśla, że średnie roczne opady w okresie kalibracji były wyższe niż w okresie ewaluacji, co może mieć wpływ na wyniki. Jednak moim zdaniem przy ocenie sezonowej struktury odpływu fakt ten nie ma dużego znaczenia.

W rozdziale 5.2. Doktorant dokonał oceny wpływu suszy na kształtowanie przepływu rzeczno. Ważne jest tu wyartykułowane zastrzeżenie wstępne, że badane przepływy znajdują się pod wpływem antropopresji związanej z gospodarką wodną zbiornika Udham oraz poborami wód, głównie na cele rolnicze. W efekcie najsilniejsze korelacje między zmiennymi występują tylko dla kwietnia przy wskaźnikach SPEI 3- i 6-cio miesięcznych. Jednak z obrazu graficznego omawianych zależności (rys. 5.5) wynika, że lepsze dopasowanie można byłoby uzyskać dla funkcji nieliniowej. Warto podkreślić, iż Doktorant stwierdził, że dla miesięcy zimowych współczynniki korelacji są wyższe – głównie z powodu stabilnego zasilania opadowego, a w miesiącach letnich, w których dochodzi temperatura i parowanie zależności są dużo słabsze z powodu większej zmienności warunków – do tego należałoby zapewne dołożyć jeszcze dodatkowe pobory wody na potrzeby rolnictwa. Ponadto na uwagę zasługuje wniosek o rocznej lub dłuższej bezwładności utrzymywania się niskich przepływów kwietniowych w efekcie wystąpienia surowej suszy, dla której wskaźnik SPEI spada poniżej -1,5 (rys. 5.6).

Wpływ suszy na zmiany cech jakościowych wody został zbadany w oparciu o wyniki badań próbek wody, pobieranych ze zbiornika Udham (rozd. 5.3.). Nie sprecyzowano jednak, skąd pobierane były próbki wód powierzchniowych w okresie przed powstaniem zbiornika. Analizie poddano dwie charakterystyki, tj. przewodnictwo elektrolityczne właściwe oraz współczynnik absorpcji sodu. Wskaźniki te są dobrymi estymatorami stopnia mineralizacji wody, a w tym przypadku jej zasolenia, co ma duży wpływ na systemy irygacyjne oraz wska-

zują na potencjalne ograniczenia w infiltracji, związane m.in. z akumulacją sodu i wykwitami solnymi. Doktorant dokonał przyporządkowania uzyskanych wyników do klas przydatności wody na cele irygacyjne za Richardsem. W efekcie okazało się, że wody w kolejnych momentach czasowych kwalifikują się do klasy „dopuszczalna” (najlepsza z pozytywnych) oraz „nieodpowiednia” (najlepsza z negatywnych). Jak łatwo zauważyć, jakość wody oscyluje w badanym okresie na granicy przydatności dla celów rolniczych i wyraźnie manifestuje oczywisty związek z latami o wysokich (dobra jakość) i niskich (zła jakość) przepływach. Warto podkreślić, iż Autor zwrócił jeszcze uwagę na pewne odstępstwa od zakreślonej powyżej zasady, polegające na pogorszeniu jakości wody po serii lat z podobnym przepływem rocznym, układającym się w strefie przepływów średnich. Przy próbie wyjaśnienia tego faktu została postawiona hipoteza, że przy stabilizacji rocznego dopływu do zbiornika na poziomie ok. 1 mld. m<sup>3</sup>, dochodzi do stabilizacji tempa rozpuszczalności soli co skutkuje pogarszaniem jakości wody. Problem jakości wody został oceniony poprawnie, jednak zabrakło nieco szerszej analizy prowadzącej do wykrycia większego spektrum czynników kształtujących tę jakość w oparciu o wiele cechy suszy zidentyfikowanych w całym opracowaniu.

Warto zwrócić uwagę, iż poza trafnie sformułowanymi wnioskami na końcu pracy, Doktorant przedstawił rekomendacje o charakterze ogólnym i szczegółowym, które wyraźnie podkreślają aplikacyjną stronę opracowania i jednocześnie poszerzają zakres potencjalnych odbiorców mających wpływ na rozwój gospodarki wodnej w badanej zlewni.

W tekście rozprawy pojawiły się błędy niedociągnięcia o charakterze edytorskim i terminologicznym. Zdarzały się powtórzenia, np. „... *weather events resulting in the occurrence of droughts occurrence*” (s. 2). Numeracja podrozdziału 1.3. i podrozdziałów niższych rzędów została w tekście zamieniona na 1.2. W tytule tabeli 2.3 zamiast *gauging station* napisano *gaging station*; nie podano również jednostek przepływu. W objaśnieniach do tab. 2.4 użyto pojęcia *electrical connectivity* zamiast *electrical conductivity*. W tabeli 5.4 powtórzono kolumnę prezentującą natężenie przepływu rzeczno. Prezentowane uwagi mają jedynie charakter niedociągnięć, gdyż w innych częściach rozprawy Doktorant wykazał się poprawnym używaniem wskazanych pojęć.

## 5. Wniosek końcowy

Przedstawione uwagi nie umniejszają znaczenia rozprawy jako wartościowego studium przyrodniczego i aplikacyjnego. Do niewątpliwych walorów opracowania należy zaliczyć:

- trafny wybór tematyki rozprawy,
- wykazanie przez Autora bogatego i nowoczesnego warsztatu badawczego w zakresie wieloaspektowego podejścia do oceny zjawiska suszy i jej skutków,
- bardzo jasne i dość precyzyjne formułowanie wniosków jednoznacznie powiązanych z wynikami badań, dające podstawę do szerokiej dyskusji,
- przemyślaną merytorycznie i czytelną szatę graficzną, istotnie wspomagającą prowadzony proces wnioskowania,
- dostosowanie poziomu i zakresu formułowanych wniosków do jakości i ilości danych wykorzystywanych w opracowaniu,
- wprowadzenie aspektów aplikacyjnych, skutkujących rekomendacjami dającymi potencjalną możliwość wykorzystania wyników pracy przez organy decyzyjne w zakresie planowania przestrzennego, melioracji wodnych oraz wdrażania strategii łagodzenia skutków suszy.

Do pewnych mankamentów zaliczyłbym:

- stosunkowo wąskie omówienie zastosowanych charakterystyk na tle innych wskaźników używanych przy ocenie suszy,
- ograniczenie zakresu wnioskowania przy niektórych wskaźnikach do niezbędnego minimum
- ograniczone zastosowanie statystycznych miar zmienności w szeregach czasowych, których wprowadzenie poszerzyłoby wiedzę o dynamice rozwoju suszy.

**Podsumowując stwierdzam, że przedłożona rozprawa spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w ustawie z dnia 14 marca 2003r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wnoszę o dopuszczenie Pana mgr. Abd Alsalama Mohammeda Maila do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

