

dr hab. Krystyna Bryś prof. UP
Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska
Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Plac Grunwaldzki 24
50-363 Wrocław

Wrocław, 20 stycznia 2021 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej **mgra Wojciecha Radziuna** pt.: „*Opady atmosferyczne na obszarze Łodzi i województwa łódzkiego w okresie 1961-2016*”

Promotor: prof. dr hab. Joanna Wibig,

Promotor pomocniczy: dr Piotr Piotrowski.

Podstawą opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgra Wojciecha Radziuna jest pismo Pani dr hab. Joanny Petery-Zganiacz prof. UŁ, Przewodniczącej Komisji Uniwersytetu Łódzkiego do spraw stopni naukowych w dyscyplinie nauki o Ziemi i środowisku z dnia 5. 11. 2020 r.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgra Wojciecha Radziuna dotyczy charakterystyki opadów na obszarze Łodzi i województwa łódzkiego w okresie 1961-2016 na tle cyrkulacji atmosferycznej. Obieg ciepła, obieg wilgoci i cyrkulacja atmosferyczna to główne procesy klimatotwórcze. Pogoda i klimat są wynikiem oddziaływania cyrkulacji atmosferycznej, jak i w dużym stopniu warunków lokalnych. Autor podjął próbę oceny zgromadzonych materiałów obserwacyjnych w inny sposób niż dotychczasowe klasyczne opracowania elementów meteorologicznych. Nie jest to klimatologia „uśrednionych wartości” lecz spojrzenie dynamiczne, z uwzględnieniem właśnie cyrkulacji atmosferycznej. Definicja klimatu ewoluuje i obecnie „pod pojęciem klimatu rozumiemy dynamikę atmosfery: następstwo frontów i mas atmosferycznych oraz ich częstość występowania w dłuższym okresie” (Kędziora, 1999).

Rozprawa liczy 126 stron, w tym 51 rysunków oraz 14 tabel. Spis literatury zawiera 126 publikacji (w tym 12 nie zacytowanych w treści pracy). Autor korzystał także z 7 stron internetowych, głównie z baz danych uwzględnionych w rozprawie.

Układ pracy jest poprawny, umożliwiając przedstawienie kolejno poruszanych zagadnień badawczych oraz ich analizę i syntezę uzyskanych wyników. Oprócz 7 rozdziałów i spisu literatury praca zawiera również spis treści i spisy rysunków oraz tabel.

Rozdział 1. to *Wstęp* (str. 4-12), który nie jest typowym krótkim wprowadzeniem do poruszanej w pracy tematyki, ale obszerniejszym zbiorem kilku podstawowych zagadnień wstępnych. Odnajdujemy w nim zarówno parę zdań wprowadzających, jak i przegląd

literatury związanej z tematem opracowania. W tym kontekście Autor formułuje główne i szczegółowe cele rozprawy oraz krótko uzasadnia najważniejsze części jej struktury, które kolejno związane są z analizą zmienności opadu w dwóch skalach przestrzennych: regionalnej (woj. łódzkie) i lokalnej (aglomeracja łódzka).

Materiały źródłowe i metody badań zostały przedstawione w rozdziale drugim (str. 13-23). Zasadnicza część pracy zawarta jest w rozdziałach trzecim (str. 24-51), czwartym (str. 52-68), piątym (str. 69-74) i szóstym (str. 75-96). Ten ostatni rozdział obejmuje analizę w skali aglomeracji łódzkiej, a poprzedzające go rozdziały 3-5 dotyczą analizy w skali regionalnej. Pracę kończy *Podsumowanie* (rozdział 7., str. 97-102).

Podstawowy cel pracy jest jasno sformułowany. Jest nim charakterystyka opadów atmosferycznych na tle cyrkulacji atmosferycznej w województwie łódzkim oraz analiza incydentów opadowych w skali lokalnej. Zbadanie ich na obszarze aglomeracji łódzkiej ma być próbą ukazania specyfiki obszaru zurbanizowanego, który może mieć bezpośredni wpływ na wielkość opadu atmosferycznego. Dodatkowe, szczegółowe cele to:

- analiza czasowo-przestrzenna opadów atmosferycznych w woj. łódzkim oraz ocena wpływu cyrkulacji atmosferycznej na ich występowanie;
- analiza przebiegu zmian intensywności opadu atmosferycznego w czasie jego trwania na terenie aglomeracji łódzkiej;
- określenie najbardziej deszczonośnych kierunków adwekcji mas powietrza w skali lokalnej.

Autor dokonując we *Wstępie* przeglądu literatury, słusznie koncentruje się na pracach wielu badaczy rozkładu czasowego i przestrzennego opadu atmosferycznego w Polsce, a wśród nich tych, którzy zajmowali się charakterystyką opadów na obszarze województwa łódzkiego. Zwraca m.in. uwagę na publikacje dotyczące zjawiska niedoboru opadów atmosferycznych oraz uwarunkowań cyrkulacyjnych dotyczących okresów bezopadowych i wystąpień suszy. Wymienia również szereg klasycznych już prac podkreślających znaczenie czynnika cyrkulacyjnego dla kształtowania rozkładu opadów w Polsce. W tym kontekście przedstawia również prace dotyczące typologii cyrkulacyjnej oraz stosowane w analizach opadowych kalendarze cyrkulacji atmosfery. Zwraca także uwagę na prace dotyczące roli czynnika urbanizacyjnego i rzeźby terenu na kształtowanie pola opadu w aglomeracjach miejskich.

Omawiając rolę NAO i innych makrotypów cyrkulacyjnych w kształtowaniu opadu w Europie zabrakło w tym przeglądzie jednak odniesienia do kilku ważnych prac dotyczących wpływu epok cyrkulacyjnych (oprócz NAO) na zmiany klimatu w Polsce, a tym samym na trendy opadów atmosferycznych, m.in. publikacji Marsza, Kożuchowskiego i Marciniaka, Kożuchowskiego i Degirmendżicia. Poruszając znaczenie niedoborów opadowych dla kształtowania się zjawiska suszy i okresów posusznych, Autor nie zaakcentował współsprawczej roli czynnika termicznego i wilgotnościowego, choć wiele z zacytowanych prac dotyczy także tego zagadnienia. Na podstawie cytowanej literatury Doktorant podejmuje we *Wstępie* próbę porównania warunków opadowych obszaru badań na tle innych rejonów Polski. Ta część pracy jest jednak nieco chaotyczna i uboga, np. brakuje odniesienia do opracowań dotyczących aglomeracji wrocławskiej i województwa dolnośląskiego. Opadowa seria wrocławska jest jedną z najdłuższych w Polsce, gdyż została zrekonstruowana od roku

1791 (Bryś i Bryś 2010) i może stanowić reprezentatywną miarę w ocenie realności ekstremalnych wartości sum miesięcznych opadu w stacjach regionu łódzkiego.

Zaproponowana przez Autora literatura polska (97 pozycji – 88 wg *Spisu literatury* i 9 tam nie uwzględnionych) i światowa (34 pozycje - 26 wg *Spisu literatury* i 8 tam nie uwzględnionych), potrzebna do porównań i jako wsparcie metodyczne przeprowadzanych analiz, nie ogranicza się do prac zacytowanych we *Wstępie*. W następnych rozdziałach rozprawy, stosownie do poruszanej tam tematyki badawczej, przywoływane są bowiem kolejne publikacje zawarte zarówno w *Spisie literatury*, jak i tam nieobecne (w sumie w rozdziałach 1-6 stanowią one 17 dodatkowych pozycji).

Rozdział 2. (*Dane i metody opracowania*) składa się z dwóch podrozdziałów. Podrozdział 2.1 zawiera opis metod i danych zastosowanych do analizy opadów atmosferycznych na obszarze województwa łódzkiego.

Docenić tu trzeba trud opracowania przez Autora dobowych sum opadów z 55 lat pomiarów (1961-2015) zrealizowanych w 34 stacjach opadowych lub klimatologicznych regionu łódzkiego i jego „otuliny”. Dane te pochodzą z 22 miejscowości woj. łódzkiego oraz z 12 dodatkowych punktów pomiarowych zlokalizowanych w najbliższym sąsiedztwie poza obszarem tego województwa. Uwzględnienie tych dodatkowych stacji było potrzebne, aby uzyskać dokładniejszą interpolację rozkładu przestrzennego opadu. Dla charakterystyki opadów w różnych skalach przestrzenno-czasowych wykorzystano takie statystyki jak sumy okresowe (miesięczne, sezonowe etc.), odchylenia standardowe, absolutne maksima sum dobowych w kolejnych porach roku, udział procentowy dni z opadem, wartości współczynników trendu sum sezonowych i 95. percentyl sum sezonowych. Ujęcie graficzne przestrzennej zmienności opadu wymagało zastosowania odpowiedniej procedury interpolacyjnej. Zastosowana metoda „naturalnego sąsiedztwa” w programie Arc GIS 10.2, przy wykorzystaniu danych ze wspomnianych dodatkowych stacji dała możliwość otrzymania realistycznych map rozkładu opadu w skali regionalnej, niezbędnych do analiz uwarunkowań jego zmienności. Te metody badań są powszechnie stosowane i zalecane w klimatologii. Doktorant wykazał się tu bardzo dobrym opanowaniem pakietu statystycznego i najnowszych metod GIS.

Do uzyskania zmian intensywności opadów ze względu na charakter ich powstania Autor wykorzystał dane z lotniskowych depesz obserwacji tzw. METAR-ów (stacja Łódź-Lublinek) oraz przejrzał mapy synoptyczne. Aby uzyskać mapy rozkładu procentowego opadów atmosferycznych oraz 95. percentyla sum dobowych opadów (13 map) zastosował metodę odwrotnej odległości w programie Surfer.

W podrozdziale 2.2 opisał metody i dane zastosowane do oceny warunków cyrkulacyjnych. Doktorant wykorzystał automatyczny kalendarz cyrkulacji atmosferycznej opracowany przez Piotrowskiego (Jędruszkiewicz, Piotrowski 2012). Wartości wysokości izobarycznej 850 hPa z 32 rozmieszczonych punktów posłużyły do obliczenia wskaźników cyrkulacji: kierunku wiatru i wirowości wiatru geostroficznego. Można było dzięki temu określić kierunek adwekcji i charakter cyrkulacji (wyróżniono 16 typów cyrkulacji atmosferycznej). Wartości wysokości powierzchni izobarycznej 850 hPa zaczerpnął Autor z bazy NCEP-NCAR Reanalysis.

Do analizy związków makrotypów cyrkulacji z opadami atmosferycznymi wykorzystał w rozprawie indeksy: NAO (Oscylacja Północnego Atlantyku), EA (Oscylacja Wschodnioatlantycka), EA/WR (Oscylacja Wschodnioatlantycka / Zachodniorosyjska), SCA (Oscylacja Skandynawska), POL (Oscylacja Polarna). Autor wybrał 7 stacji w granicach województwa łódzkiego i wykonał analizę korelacyjną pomiędzy opadami i wybranymi wskaźnikami makrocyrkulacyjnymi (średnie miesięczne z bazy danych NOAA).

Na podstawie procedury RPCA (the Rotated Principal Component Analysis) opracowanej przez Barnstona i Livezey (1987) określił wskaźniki makroskalowe. Metoda ta bazuje na składowych głównych pola geopotencjału powierzchni izobarycznej 500 hPa. Dane z lat 1950-2000 były okresem bazowym dla obliczenia współczynników równań poszczególnych indeksów (techniką najmniejszych kwadratów wg Wibig). Przytoczenie niektórych szczegółów dotyczących metodyki obliczeń uzmysławia jak mrówczą pracę musiał wykonać Doktorant.

W tym podrozdziale znajdujemy także bogaty przegląd literatury dotyczący wybranych makrotypów cyrkulacji. Ten rozbudowany wątek literaturowy powinien się znaleźć w *Przeglądzie literatury*.

W rozdziale 3. zatytułowanym *Analiza opadów atmosferycznych w woj. łódzkim* (str. 24-51) Autor zrealizował jeden z celów szczegółowych rozprawy: analizę czasowo-przestrzenną opadów atmosferycznych w woj. łódzkim.

W tabeli nr 1 zestawiał sumy roczne w latach 1961-2015 i średnie sumy roczne dla 22 stacji w woj. łódzkim. Choć tabela w wersji „papierowej” jest mało czytelna, wyniki zestawionych obliczeń wyraźnie wykazują różnice w opadach pomiędzy płaską powierzchnią na północy województwa a wzgórzami na południu (rys. 5). W tabeli nr 2 Autor zestawiał średnie miesięczne sumy opadów atmosferycznych z wybranych punktów pomiarowych woj. łódzkiego ukazujące sezonowy rozkład opadów, najwyższy latem. Ta ogólna charakterystyka cech opadowych regionu potwierdza wyniki wcześniejszych badań Kożuchowskiego i in. (1990), Podstawczyńskiej (2010) oraz Wibig i Radziuna (2019) dotyczących zmiany wysokości opadów w zależności od pory roku i od wysokości nad poziomem morza.

Poważne wątpliwości budzi otrzymana przez Autora minimalna suma roczna opadów: 178,6 mm w Żychlinie (1992). Czy została przeprowadzona dokładna walidacja tej wartości, czy np. porównano ją z wartościami z Roczników opadowych lub przeprowadzono weryfikację raportów pomiarowych w archiwum IMGW? W świetle 230 lat danych z serii wrocławskiej (Bryś i Bryś 2010) wartość ta jest najprawdopodobniej artefaktem! Minimum sum rocznych dla Wrocławia wyniosło bowiem 249 mm (1811 r.), przy czym wartość ta wystąpiła w okresie schyłku tzw. Małej Epoki Lodowej, w warunkach znacznego kontynentalizmu klimatu Polski i trwania stosunkowo niskich temperatur powietrza. W roku 1992 większość stacji (12) regionu łódzkiego miała wartości mieszczące się w przedziale 400-499 mm, a tylko jedna (poza Żychlinem) miała wartość niższą niż 400 mm (ok. 392 mm). Wartość z Żychlina jest więc wyraźnie odstająca od tych wartości i współcześnie charakterystyczna tylko dla obszarów semiaridalnych.

Podrozdział 3.1 to: *Charakterystyka opadów atmosferycznych w woj. łódzkim w ujęciu sezonowym.*

Prezentuje w nim Doktorant mapy średnich sezonowych sum opadów atmosferycznych z wielolecia 1961-2015 (rys. 6). Odczytujemy z nich przebieg izohiet w poszczególnych porach roku (lato: 200 mm na północy, 240 mm na południu; zima: 90 mm na północy, 140 mm na południowym wschodzie; wiosna: 120 mm na północy, 150 mm na południu; jesień: 120 mm na północy, 140 mm na południu).

Następne prezentowane w rozprawie mapy dotyczą przestrzennego rozkładu odchyłeń standardowych średnich sezonowych sum opadów w woj. łódzkim (rys. 7) oraz rozkładu przestrzennego 95. percentyla sezonowych sum opadów z lat 1961-2015 (rys. 8). Krótkie podsumowanie Autora zawarte w tym podrozdziale trafnie ujmuje różnice sezonowe w rozkładzie opadów na terenie woj. łódzkiego i jest zbieżne z wynikami innych badaczy tego rejonu.

Doktorant przeprowadził także analizę korelacyjną średnich sum rocznych i sezonowych opadów atmosferycznych pomiędzy stacjami, by zweryfikować sumy opadów oraz ich współzmiennność przestrzenną. Na rys. 9. i 10. odnajdujemy przestrzenny rozkład współczynnika korelacji pomiędzy sumami rocznymi w Łodzi a pozostałymi punktami pomiarowymi (rys. 9) i podobny - dla sum sezonowych (rys. 10). Na peryferiach Łodzi korelacje są niższe. W podpisach rysunków (rys. 8 i rys. 9) wkradł się błąd spowodowany zapewne nieuważnym „wklejeniem” tekstu.

Wyniki obliczeń korelacji pomiędzy sumami opadów na poszczególnych stacjach zamieścił Autor w tabeli nr 3 (dla zimy i lata) oraz w tabeli nr 4 (dla wiosny i jesieni). W większości wypadków korelacje pomiędzy stacjami były silne. Te umiarkowane były nieliczne. W porównaniu z tabelą nr 1, treść tych tabel jest lepiej widoczna, ale szkoda, że nie zostały one przedstawione na osobnych stronach, co zwiększyłoby znacznie ich czytelność.

W podrozdziale 3.2 pt.: *Wieloletnia zmienność opadów atmosferycznych w woj. łódzkim* Autor zajął się sprawdzeniem istotności statystycznej trendów sum rocznych i sezonowych opadów atmosferycznych. Wykorzystał tu trafnie test nieparametryczny Mann-Kendalla. Wykonał 4 mapy rozkładu przestrzennego wartości współczynnika trendu [mm/rok] sezonowych sum opadów w okresie 1961-2015. Zaznaczone na rys. 11. punkty pomiarowe z trendem istotnym statystycznie w wersji czarno-białej są słabo czytelne. Zaznaczono je wyraźnie w tab. nr 5, choć w tabeli tej nie zaznaczono dla miejscowości Wieluń i Czartoryja wartości -0,65 jako wartości istotnej statystycznie.

Doktorant poprawnie wykonał też mapy procentowych odchyłeń sumy rocznej i sum sezonowych opadów atmosferycznych od średniej wieloletniej (1961-2015) na wybranych stacjach (rys. 12-16). W latach 70. XX wieku odchylenia były dodatnie, lata 80. – to okres z deficytem opadów, a lata 90. z opadami przeważnie powyżej normy. Wyniki innych badaczy tego rejonu są podobne. Potwierdza się też, że na północy województwa występują znaczne niedobory opadów atmosferycznych.

W podrozdziale 3.3 pt.: *Charakterystyka zmienności dobowych sum opadów atmosferycznych w woj. łódzkim* Autor wyliczył „obfitość opadu”, na mapach zaznaczył jego przestrzenny rozkład dla wielolecia 1961-2015 (rys. 17) i dla poszczególnych sezonów

(rys. 18). Wyniki, które uzyskał są zbieżne z opublikowanymi przez innych badaczy. Dla Polski (wg Kozuchowskiego) średnia obfitość opadu wynosi od 3-4 mm/dobę, w woj. łódzkim (wg rozprawy) wskaźnik ten waha się nieznacznie powyżej średniej (inne lata wzięte do analiz!). W podrozdziale tym odnajdziemy także 4 mapki (rys. 19) przestrzennego rozkładu absolutnych maksimów sum opadów dobowych w poszczególnych porach roku (1961- 2015) i mapki udziału procentowego dni z opadem (rys. 20). Drobiazgową analizę dopełniają rysunki 21 – 25 oraz ich opisy, w których Autor przedstawił kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych w poszczególnych porach roku. Zimą występuje najmniejsze zróżnicowanie spośród wszystkich sezonów. Wiosną i jesienią wartości są wyższe niż zimą, latem zmienność opadów w czasie i przestrzeni jest największa spośród wszystkich pór roku. Autor swoją analizą potwierdza kontynentalny reżim opadowy województwa łódzkiego, który jest podobny do wyników innych badaczy, np. Kozuchowskiego i Wibig.

Jeden z celów szczegółowych: analiza czasowo-przestrzenna opadów atmosferycznych w woj. łódzkim w tym rozdziale został osiągnięty. Autor wykazał się tu bardzo dobrym opanowaniem metod statystycznych i znajomością najnowszych narzędzi GIS.

W rozdziale czwartym (podrozdz. 4.1) Autor przedstawił opady atmosferyczne na tle cyrkulacji atmosferycznej (str. 52-68). Na wykresach (rys. 26-29) dla pięciu wybranych posterunków pogodowych odnajdujemy kwartyle dobowych sum opadów atmosferycznych w zależności od typów cyrkulacji we wszystkich sezonach. Automatyczny kalendarz cyrkulacyjny Piotrowskiego posłużył mu do wyznaczenia najczęstszych kierunków adwekcji (NW, W i SW), podczas których obserwowano opady atmosferyczne. Częstość opadów atmosferycznych w zależności od kierunków adwekcji przedstawił na rys. 30-33 rozgraniczając jednocześnie wielkość sum opadu w czterech klasach (od 0,1-1,0 mm; 1,1-5,0 mm; 5,1-10,0 mm i powyżej 10 mm). We wszystkich porach roku najwyższą częstością opadów atmosferycznych wyróżnił się kierunek zachodni (szczególnie w przedziałach 1,1-5,0 mm). W porze letniej obserwuje się wyraźny wzrost częstości opadów umiarkowanych (5,1-10,0 mm) i silnych (powyżej 10 mm).

W podrozdziale 4.3 Autor przedstawił prawdopodobieństwo warunkowe opadu atmosferycznego w zależności od cyrkulacji atmosferycznej. Na rys. 34. możemy odczytać to prawdopodobieństwo w zależności od typu cyrkulacji atmosferycznej w poszczególnych sezonach (1961-2015). Potwierdza się tu, że najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia opadu atmosferycznego w ciągu roku występuje podczas typów cyklonalnych.

Bardzo ciekawy jest **podrozdział 4.4. W celu bardziej szczegółowej analizy opadów atmosferycznych na terenie województwa łódzkiego, Autor wykonał analizy prawdopodobieństwa warunkowego w różnych klasach wysokości opadu w zależności od kierunku adwekcji.** Na rys. 35-38 przedstawił je dla 5 wybranych punktów pomiarowych dla różnych pór roku. Szkoda tylko, że dobór odcieni koloru linii jest nie do końca trafiony i rysunki nie są czytelne (w wersji „papierowej”). W okresie letnim zaobserwowano znaczny wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia opadów umiarkowanych oraz silnych i jest ono dwukrotnie wyższe niż w sezonie zimowym. Badania te nawiązują do wcześniejszych opracowań Piotrowskiego i Rzepy. **Następny cel - ocena wpływu cyrkulacji**

atmosferycznej na występowanie opadów atmosferycznych w woj. łódzkim został w tym rozdziale osiągnięty.

Dopełnieniem rozważań o wpływie cyrkulacji na opady atmosferyczne jest **rozdział piąty** pt.: *Telekoneksje – związek makroskalowych typów cyrkulacji typu NAO, EA, EA/WR, SCA i POL z opadami na obszarze woj. łódzkiego*. W tabeli nr 6 Autor zamieścił wyniki korelacji pomiędzy wartościami indeksów cyrkulacji makroskalowej a sumami miesięcznymi w wybranych punktach pomiarowych w okresie 1961-2015. Kolorem zaznaczono tu korelacje istotne statystycznie. Duże zróżnicowanie korelacji świadczy o wpływie warunków lokalnych. W tab. 7. i 8. zestawiał Autor także liczbę indeksów cyrkulacji atmosferycznej istotnie korelujących z opadami w poszczególnych miesiącach i liczbę miesięcy w roku, podczas których dany indeks istotnie koreluje z opadami. Ta prosta analiza korelacyjna potwierdza spostrzeżenia innych badaczy, że jesień i zima wyróżnia się najsilniejszą zależnością pomiędzy makrotypami cyrkulacji a opadami atmosferycznymi.

Ostatni rozdział szósty: *Analiza opadów atmosferycznych na obszarze Łodzi* zawiera w części wstępnej przegląd literatury dotyczący wpływu miasta na opady.

W podrozdziale 6.1 zatytułowanym: *Zmiany intensywności opadu atmosferycznego podczas wybranych incydentów opadowych na obszarze aglomeracji łódzkiej* odnajdujemy oryginalne podejście do oceny dynamiki warunków pluwialnych. Autor uzupełnia w nim dotychczasową wiedzę na temat zmienności opadów atmosferycznych o zdarzenia z początku XXI wieku. Zbadanie przebiegu incydentów opadowych na obszarze aglomeracji łódzkiej i jej najbliższych okolic (niestety tylko 2 posterunki opadowe) jest próbą ukazania specyfiki obszaru zurbanizowanego, który może mieć bezpośredni wpływ na wielkość opadu atmosferycznego. Szkoda, że w rozprawie Doktorant nie zamieścił szerszego opisu zabudowy architektonicznej miasta albo mapy jego zagospodarowania przestrzennego (w granicach swojego opracowania). Zauważa On jednak, że przegrzanie powierzchni czynnej w zabetonowanych częściach miasta czy wzrost szorstkości podłoża wpływa na konwekcję dynamiczną, a różna wysokość budynków modyfikuje pole wiatru.

Do oceny warunków opadowych, niebezpiecznych z punktu widzenia lokalnych podtopień, wykorzystał wskaźnik zwany krzywymi sumowymi warstwy opadu liczony wg metody Barszcza (2012). Obliczenia te w rozprawie dotyczą tylko półrocza ciepłego w latach 2014-16 dla pięciu posterunków w Łodzi i dwóch poza Łodzią. Bezwymiarowe, skumulowane (co 5 minut) wartości zostały zamienione na wartości procentowe w odniesieniu do czasu trwania opadu i przedstawiono je wg podziału na jednostki co 5%. W kolejnym etapie Autor rozprawy obliczył znormalizowane rozkłady warstw opadu dla każdej stacji osobno za pomocą mediany (dla każdego kroku co 5%). Utworzył w ten sposób jeden pełny przebieg znormalizowanego rozkładu opadu w czasie. Ostatni etap to wyznaczenie jednego tzw. syntetycznego, znormalizowanego rozkładu warstw opadu na podstawie 184 zdarzeń opadowych z wykorzystaniem mediany ze wszystkich ujętych stacji.

W tabeli 9. przedstawił charakterystyki incydentów opadowych (warstwa opadu i czas trwania opadu z wydzieleniem chmur warstwowych i chmury Cumulonimbus). Ten zbyt

uproszczony podział chmur nie oddaje w pełni przebiegu czasowego zmian „wodności” tych incydentów opadowych, potwierdza jedynie starą prawdę, że z chmur warstwowych opad jest jednostajny a z chmury Cumulonimbus - dynamiczny.

Znormalizowane rozkłady warstwy opadów dla punktów miejskich i pozamiejskich są do siebie bardzo podobne i tu Autorowi nie udało się wykazać wpływu hipsometrii terenu na przebieg warstwy opadu. Słusznie zauważa On, że przyczyną były zbyt małe deniwelacje terenu. Syntetyczny, znormalizowany, skumulowany rozkład warstwy opadów dla wszystkich omawianych punktów pomiarowych na obszarze aglomeracji łódzkiej potwierdził natomiast charakterystyczną trójfazową zmianę intensywności opadu w całym jego przebiegu.

Było to jednym z celów szczegółowych (analiza przebiegu zmian intensywności opadu atmosferycznego w czasie jego trwania na terenie aglomeracji łódzkiej). Doktorant skrupulatnie zrealizował to przedsięwzięcie.

Podrozdział 6.2 (*Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych na obszarze Łodzi w zależności od kierunku adwekcji*) jest najciekawszym efektem żmudnej pracy Autora. Doktorant dokonuje w nim analizy 90 przypadków zdarzeń opadowych z 3 kierunków adwekcji, którym najczęściej towarzyszył opad (W, SW i NW). Obliczył On średni udział procentowy sum: 5 min, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25... aż do 55-60 minut z sumy 60-minutowej czasu trwania incydentu opadowego. Powstały dzięki temu mapy (po 12 map dla każdego z wybranych kierunków adwekcji przedstawionych na rys. 47 - 49) ze średnim udziałem procentowym sumy 60-minutowej w pięciominutowych krokach czasowych (w półroczu ciepłym 2011-2016). Wyniki analiz i dobrze zapisane wnioski pozwalają dostrzec wpływ miasta na rozkład opadów. We wszystkich przypadkach maksymalny średni udział procentowy opadu występuje po stronie zawietrznej miasta. Możemy też ocenić, w której fazie czasowej opad jest największy.

Ważnym dopełnieniem powyższej analizy jest podrozdział 6.3 p.t. *Rozkład przestrzenny 95. percentyla sum dobowych opadów atmosferycznych w półroczu ciepłym i chłodnym (2011-2016)*.

Autor analizuje tu cechy rozkładu przestrzennego 95. percentyla sum dobowych opadów atmosferycznych podczas adwekcji z trzech najczęstszych kierunków (W, NW i SW). Celem tej analizy było zbadanie zróżnicowania pola wysokich sum dobowych opadów atmosferycznych nad obszarem miejskim. Związane to jest z procesem odprowadzenia i zagospodarowania wód opadowych w mieście. Powstały kolejne mapy: *Rozkład przestrzenny 95. percentyla dobowych sum opadów w półroczu chłodnym i ciepłym* (rys. 49) oraz *Rozkład przestrzenny 95. percentyla dobowych sum opadów atmosferycznych w półroczu chłodnym i ciepłym podczas adwekcji z kierunku NW, W i SW*. Jeden z ważniejszych wniosków tej analizy to spostrzeżenie, że najwyższe wartości 95. percentyla sumy dobowej opadów najczęściej występowały wokół centrum miasta.

Kolejny cel: określenie najbardziej deszczonośnych kierunków adwekcji mas powietrza w skali lokalnej został tu osiągnięty.

Rozprawę kończy *Podsumowanie* (6 stron). Autor porządkuje w nim po kolei wyniki badań zawartych w rozprawie. Podsumowanie zawiera najważniejsze osiągnięcia Autora.

Ogólna ocena merytoryczna pracy

Przedstawiona praca – zdaniem Recenzenta – wskazuje na dobre przygotowanie warsztatowe Autora, który swoją bogatą wiedzę z zakresu nowoczesnych metod klimatologii dynamicznej potrafił właściwie zastosować do osiągnięcia zamierzonych (wyartykułowanych we *Wstępie* pracy) celów naukowych. Podkreślić tu należy jeszcze raz (patrz wyżej – prezentacja rozdz. 2-6) owocne zastosowanie w recenzowanej pracy, oprócz klasycznych metod statystycznych (badania korelacyjne, istotności trendów etc.), takich metod jak GIS, analiza map synoptycznych, analiza prawdopodobieństwa warunkowego opadów na tle cyrkulacji atmosferycznej (związki z typami cyrkulacyjnymi wg kalendarza Piotrowskiego), analiza telekoneksji makrotypów cyrkulacyjnych z opadami, czy analiza tzw. krzywych sumowych warstwy opadu w badaniach zmienności przestrzennej i czasowej opadów na terenie Łodzi i woj. łódzkiego.

W postępowaniu badawczym zwraca uwagę duża staranność Doktoranta w doborze jak najlepszych metod interpolacyjnych, co miało podstawowe znaczenie dla realności i dokładności uzyskanych w postaci kilkunastu map wyników. Mapy te i uzupełniające je wykresy w przejrzysty i wiarygodny sposób zobrazowały główne cechy zmienności przestrzennej i rozkładu czasowego opadu.

Przedstawione we *Wstępie* cele pracy zostały w pełni zrealizowane. Żmudny wysiłek badawczy Autora miał ważny sens poznawczy i użyteczny. Wielowątkowy charakter pracy i drobiazgowość przeprowadzonych analiz pozwoliły nie tylko z szerszej perspektywy klimatologicznej ocenić badaną zmienność opadów. Dały też solidną, empiryczną informację o przebiegu zmian intensywności opadu atmosferycznego w czasie jego trwania na terenie miejskim i podmiejskim, co jest użyteczne w gospodarce wodnej (kwestie melioracji i lokalnych podtopień) oraz gospodarce komunalnej aglomeracji łódzkiej, szczególnie przy projektowaniu i ulepszaniu jej sieci kanalizacyjnej.

Otrzymane wyniki na bazie dobowych danych pomiarowych z 55 lat (1961-2015) potwierdziły w różnych skalach przestrzennych (aglomeracja miejska, region) znane wcześniej uwarunkowania cyrkulacyjne zmienności opadów w Łodzi i regionie łódzkim. Zaletą pracy jest szczegółowa analiza uwarunkowań incydentów opadowych w aspekcie zmian intensywności opadu w czasie jego trwania na terenie aglomeracji łódzkiej. W tym celu opracowano najnowsze pomiary z ciepłego półrocza lat 2014-2016 ze stacji automatycznych rozmieszczonych w Łodzi (5) i obszarze podmiejskim (2 stacje). Uzyskane wyniki wzbogacają istotnie rezultaty wcześniej wykonanej przez Autora analizy zmienności przestrzennej rozkładu opadu w czasie jego trwania na obszarze Łodzi podczas wybranych kierunków adwekcji oraz rodzaju występujących chmur (uproszczony podział na chmury warstwowe i Cumulonimbus). Tym samym zwracają uwagę nie tylko na uwarunkowania cyrkulacyjne, ale również na uwarunkowania lokalne dynamiki procesów opadowych na obszarze aglomeracji miejskiej.

Umiejętne korzystanie z nowoczesnych narzędzi statystycznych i kartograficznych wspomagających rzetelność wykonanych analiz nie ustrzegło jednak Autora przed drobnymi niedociągnięciami i potknięciami.

Nazbyt uproszczony jest zastosowany w pracy podział incydentów opadowych na opady z chmur warstwowych i opady z chmur Cumulonimbus. Podział ten nie uwzględnia złożonych sytuacji frontalnych, kiedy opad z chmur warstwowych może być sprzężony z obecnością opadu z chmur Cumulonimbus jako jego prolog lub kontynuacja. Ma to miejsce, kiedy front chłodny dogoni front ciepły i pojawia się nad badanym obszarem jako front zokludowany. W tym kontekście należy przypomnieć wyniki badań Łupikasy (2010) stwierdzające, że 2/3 ekstremalnych opadów atmosferycznych w Polsce ma związek z frontami atmosferycznymi (co zresztą zanotował Autor w swoim przeglądzie literatury na s. 9).

Niezbędna w pracy jest korekta informacyjna dotycząca zakresu pojęciowego (desygnatu) terminu „warstwa opadu”, który został przez Autora nieprecyzyjnie użyty z powołaniem się na źródłową pracę Barszcza (2012). Termin ten nie jest bowiem synonimem terminu „krzywych sumowych przyrostu wysokości opadu w ciągu czasu jego trwania”, który w publikacji z 2011 roku zastosował Kożuchowski. Informacja zawarta teraz przez Autora recenzowanej pracy (s. 79, w. 16-17) w zdaniu: „Barszcz (2012) krzywe sumowe nazywał warstwami opadu” jest błędna, gdyż Barszcz w zacytowanej pracy (m.in. w tab. 1) wyraźnie oddziela warstwę opadu (rainfall depth) od czasu trwania deszczu (rainfall duration) i intensywności opadu (rainfall intensity). Barszcz pisze tam (s. 31) o „rozkładach warstwy opadu w czasie trwania deszczu”, które są przedstawione przy pomocy krzywych sumowych i objaśnia sposób obliczania wartości „warstwy opadu” P_i w stosunku do całkowitej sumy opadu P_c . W związku z powyższym należy w recenzowanej pracy tak poprawić sposób użycia sformułowania „warstwa opadu”, aby pod względem znaczeniowym było ono zgodne z pracą źródłową.

Pewien niedosyt pozostawia Recenzentowi dokonana w pracy analiza trendów opadowych. Zabrakło w niej bowiem analiz zmienności opadów atmosferycznych związanych z różnymi epokami cyrkulacyjnymi (np. wyznaczonych przez badaczy rejonu: Kożuchowskiego czy Degirmendżicia). Recenzent ma nadzieję, że w dalszej pracy naukowej Autor pochyli się nad tą ważną tematyką.

Praca jest napisana poprawnie pod względem językowym. Tekst jest dobrze uzupełniony wykonanymi rysunkami (mapami) i dobrze dobranymi tabelami. Przy tak dużym materiale graficznym Autor zdecydował się na pomniejszenie tabel i wykresów oraz map i w wersji „papierowej” czasami (rys. 1, 22-25, 46-49, 51, tab. 1-4, 9) nie są one odpowiednio wyraźne i czytelne. Podobna uwaga dotyczy zbyt mocnego koloru tła zamazującego wyróżnione nim liczby w tabelach 6 i 9.

Szkoda także, co zapewne wynikało z pośpiechu przy finalizowaniu rozprawy, że Doktorant przeoczył potrzebę zacytowania w tekście pracy wszystkich pozycji ujętych w *Spisie literatury*. Uwaga ta dotyczy 12 prac: Adameczyk (2007), Boryczka i Stopa-Boryczka (2004), Gumiński (1952), Jones i in. (1992), Kłysik (2001), Kożuchowski (1985), Kożuchowski i Marciniak (1990), Lamb (1972), Łabędzki (2004), Łupikasy (2010), Mycielska i Michalczewski (1972), Skowera i Puła (2004).

Ponadto w w/w spisie nie znalazło się 17 pozycji zacytowanych w tekście pracy: Olechnowicz-Bobrowska i in. (2008), Somorowska (2009), Łabędzki (2004), Olechnowicz-Bobrowska (1970), Kożuchowski (2015), Twardosz i Cebulska (2014), Świątek (2009).

Twardosz (1996), Dąbrowska i in. (2015), Stanley i Changnon (1980), Horton (1921), Atkinson (1968), Landsberg (1956), Changnon (1968), Landsberg (1970), Hull i Changnon (1972), Changnon (1992).

Innym, drobnym mankamentem jest niezachowanie porządku alfabetycznego dla wszystkich pozycji literaturowych zamieszczonych w *Spisie literatury*. Uwaga ta dotyczy 3 prac Changnona jr. oraz 3 publikacji Wibig. Ponadto w spisie tym:

- nie odróżniono przy pomocy zapisu cyfrowo-literowego: 2010a i 2010b dwóch publikacji Kotowskiego i in. (2010), co uniemożliwia ich jednoznaczne cytowanie w tekście pracy.

- pracę Podstawczyńskiej opublikowano w roku 2010, a nie 2012

W rozdziałach 1-7 zauważone następujące drobne usterki:

- s.10, w. 5 od dołu – zamiast Changnona i in. (1976, 1986) powinno być Changnona i in. (1976) Changnona i Huffa (1986);

- s. 13, w. 7 od góry oraz s. 75, w. 3 od dołu, s. 77 w. 9 od góry, s. 86. w. 8 i w. 13 od dołu;

- wyjaśnić, czy praca Kotowskiego i in. to 2010a, czy 2010b;

- s. 21, w. 3 od dołu – zamiast (Tomczyk 2015) powinno być: (Tomczyk 2014);

- s. 22, w. 4 od dołu – zamiast Matuszko i in. (2002) powinno być: Matuszko (2002);

- s. 40, w. 16 od dołu – zamiast: cyklicznymi powinno być quasi-cyklicznymi, ponieważ nie wykonano analizy spektralnej stwierdzającej dekadową cykliczność;

- s. 52, w. 5 od góry – zamiast: cyrkulacyjny powinno być: cyrkulacyjnych;

- s. 69, w. 11 od dołu – zamiast: Baranowska powinno być: Baranowski;

- s. 71, w. 17 od dołu – zamiast (Wibig 2008) powinno być: (Wibig 2006);

- s. 75, w. 8 od góry – zamiast: (Detwiller 1976) powinno być: (Detwiller i Changnon 1976);

- s. 75, w. 10 od góry – zamiast: Miao i in. 2010, Dou i in 2014) powinno być: Miao i in. 2011, Dou i in 2015);

- s. 75, w. 15 od góry – zamiast: (Miao i in. 2010, Dou i in 2014) powinno być: (Miao i in. 2011, Dou i in 2015);

- tabela nr 5: wartość -0,65 dla Wielunia i Czartoryi powinna być zaznaczona na szaro;

- pod tabelą nr 5 - „literówka” w opisie (ma być trend istotny statystycznie);

- rysunki 36 – 38 mają w legendzie zły dobór kolorów – kolory czasem trudno rozróżnić;

- mapka na rys. 2. zawiera błąd w opisie miejscowości Dobra-Nowiny;

- na str. 16. Autor powołuje się w opisie na tab. nr 1, ale to chyba nie ta tabela;

- podpisy pod rys. 9. i 10. są do poprawy;

- w *Podsumowaniu* na str. 98 (18. wiersz od góry) i na str. 101 (19. wiersz od góry) zauważono „literówki”.

Uważam, że mimo pewnych usterek, poziom recenzowanej pracy mgra Wojciecha Radziuna odpowiada jej przeznaczeniu jako rozprawy doktorskiej. Zawarte w recenzji uwagi krytyczne nie wpływają na ogólną bardzo pozytywną ocenę całej rozprawy. Stwierdzam, że rozprawa doktorska pt.: „*Opady atmosferyczne na obszarze Łodzi i województwa łódzkiego*”

w okresie 1961-2016” wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. Joanny Wibig oraz dra Piotra Piotrowskiego spełnia warunki określone w *Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki* oraz jej późniejszymi zmianami. W związku z powyższym przedkładam wniosek Pani dr hab. Joannie Peterze-Zganiacz prof. UŁ - Przewodniczącej Komisji do spraw stopni naukowych i Komisji UŁ ds. stopni naukowych w dyscyplinie nauki o Ziemi i środowisku o dopuszczenie mgra Wojciecha Radziuna do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

.....*Krystyna Bryś*.....

Krystyna Bryś