



ALFRED STACH

**Analiza struktury przestrzennej
i czasoprzestrzennej
maksymalnych opadów dobowych
w Polsce
w latach 1956-1980**

POZNAŃ 2009

**Analiza struktury przestrzennej
i czasoprzestrzennej
maksymalnych opadów dobowych
w Polsce
w latach 1956-1980**

UNIWERSYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

ALFRED STACH

**Analiza struktury przestrzennej
i czasoprzestrzennej
maksymalnych opadów dobowych
w Polsce
w latach 1956-1980**

Poznań 2009

ABSTRACT. Stach Alfred, *Analiza struktury przestrzennej i czasoprzestrzennej na przykładzie maksymalnych opadów dobowych w Polsce w okresie 1956-1980* [Analysis of the spatial and spatial-temporal structure of maximum daily precipitation in Poland in the years 1956-1980]. Pp. 323. Figs 147. Tabs 30. Polish text with a summary in English.

The main goal of the work was to analyse regularities underlying spatial and temporal variations in monthly and annual maximum daily precipitation totals (MDPTs) in the years 1956-1980 from the area of Poland. The MDPT field in Poland is usually the sum of the outcomes of three types of processes operating at various spatial scales: local (<10-20 km), regional (50-150 km), and supra-regional (>200 km). The parameters characterising the spatial structure of MDPTs display a marked seasonal cyclicity and variability depending on the precipitation level. In multiannual period, the changes found to occur in the elements of the spatial structure, show that the hypothesis - as to a potential effect of changes in the spatial structure of extreme precipitation events on their point-registered frequency - is a promising research perspective and should continue to be tested. Based on variation in the level and gradient of the probability of occurrence of annual MDPTs in various rainfall-amount classes seasonal subdivision was done. Dates of occurrence of annual MDPTs differ markedly regionally. Many of the newly found regularities need a deeper genetic interpretation, which is hard, if not impossible, to conduct without additional data and a wider context of their analysis.

Alfred Stach – Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Instytut Paleogeografii i Geoekologii, Zakład Geoekologii, ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań, Collegium Geographicum; e mail: frdstach@amu.edu.pl

Recenzent: prof. dr hab. Andrzej Kędziora

© Copyright by Alfred Stach 2009

Redaktor: Aleksandra Jędrzejczak

Spis treści

Podziękowania	9
I. Wprowadzenie	11
II. Zarys problematyki	15
III. Cel, zakres i metody pracy	23
1. Cel i zakres pracy	
2. Podstawy metodyki	
2.1. Wprowadzenie	
2.2. Miary ciągłości lub zmienności przestrzennej	
2.3. Struktura przestrzenna w klasach natężenia analizowanej cechy	
2.4. Przykład analizy danych kodowanych	
2.5. Modelowanie struktury przestrzennej danych	
2.5.1. Wprowadzenie do problematyki modelowania struktury przestrzennej	
2.5.2. Proste i złożone, dopuszczalne funkcje używane przy modelowaniu struktury przestrzennej	
2.5.3. Specyfika matematycznego modelowania struktury przestrzennej	
2.5.4. Kryterium jakości dopasowania modelu	
2.5.5. Optymalizacja modelu struktury przestrzennej	
2.5.6. Modelowanie struktury przestrzennej MSDO w programie ISATIS	
2.5.7. Modelowanie struktury przestrzennej danych znormalizowanych	
2.5.8. Modelowanie struktury przestrzennej danych kodowanych	
2.5.9. Nieciągłość i asynchroniczność danych MSDO a ich struktura przestrzenna	
IV. Charakterystyka pluwiotermiczna lat 1956-1980	61
V. Dane pomiarowe maksymalnych sum opadów dobowych	65
1. Źródła i charakter danych	
2. Błędy i niepewność danych	
3. Zmienność ilości stanowisk pomiarowych	
4. Rozmieszczenie przestrzenne stanowisk pomiarowych	
5. Maksymalne sumy dobowe opadów a źródłowe serie pomiarowe. Teoretyczne dystrybuanty danych	
6. Charakterystyka danych źródłowych za pomocą globalnych statystyk opisowych	
7. Charakterystyka danych źródłowych za pomocą lokalnych statystyk opisowych	
8. Relacje czasowe	
9. Podsumowanie rozdziału	
VI. Analiza struktury przestrzennej MSDO na podstawie semiwariogramów danych znormalizowanych	114
1. Wprowadzenie	
2. Częstość występowania i charakterystyka elementarnych modeli	
3. Sezonowa i wieloletnia zmienność struktury przestrzennej MSDO	
4. Klasyfikacja struktury przestrzennej MSDO – liczba i charakter składowych	
5. Charakterystyka składowych złożonych modeli struktury przestrzennej MSDO	

6. Klasyfikacja struktury przestrzennej MSDO – wartość semiwariancji	
7. Sezonowa zmienność parametrów modeli struktury przestrzennej	
8. Wieloletnia zmienność parametrów modeli struktury przestrzennej	
9. Zmienność bezwzględnych wartości wariancji składowych przestrzennych	
10. Podsumowanie rozdziału	
VII. Analiza struktury przestrzennej MSDO na podstawie semiwariogramów danych kodowanych.....	176
1. Wprowadzenie	
2. Częstość elementarnych modeli i czynniki ją kształtujące	
3. Zróżnicowanie sezonowe	
4. Zróżnicowanie zależne od względnej wysokości opadu	
5. Zróżnicowanie zależne od bezwzględnej wysokości opadu – miesiące	
6. Sezonowe zróżnicowanie zależne od bezwzględnej wysokości opadu	
7. Zróżnicowanie zależne od bezwzględnej wysokości opadu – lata	
8. Zmienność wieloletnia	
9. Podsumowanie rozdziału	
VIII. Sezonowość, wydajność i zmienność regionalna rocznych MSDO.....	215
1. Zmienność czasowa występowania i wydajności rocznych MSDO	
2. Estymacja gęstości skupień	
3. Sezonowa zmienność wydajności rocznych MSDO na terenie Polski	
4. Zmienność przestrzenna terminu występowania rocznych MSDO	
5. Testowanie istotności różnic regionalnych terminu występowania rocznych MSDO	
6. Autokorelacja przestrzenna terminów rocznych MSDO	
7. Podsumowanie rozdziału	
IX. Podsumowanie i wnioski.....	241
X. Dodatek: Szczegółowe zagadnienia metodyczne.....	246
1. Problem zmian ilości i rozkładu przestrzennego danych	
2. Estymacja, symulacja i optymalizacja przestrzenna	
3. Anizotropia struktury przestrzennej MSDO	
4. Normalizacja danych	
4.1. Ogólna charakterystyka procedur normalizacji danych wykorzystywanych w geostatystyce	
4.2. Normalizacja parametryczna z użyciem wielomianów Hermite	
4.3. Przykład normalizacji danych MSDO	
4.4. Wpływ normalizacji danych na ocenę ich struktury przestrzennej	
5. Maskowanie danych w trakcie analizy struktury przestrzennej	
5.1. Wpływ danych ekstremalnych i odstających na określenie struktury przestrzennej zjawiska	
5.2. Metodyka procedury interaktywnego czyszczenia semiwariogramu	
5.3. Statystyki procedury czyszczenia semiwariogramu dla wszystkich analizowanych zbiorów danych MSDO	
6. Rozdzielczość modeli przestrzennych	
6.1. Ogólne kryteria wyboru rozdzielczości rastrowych modeli przestrzennych	
6.2. Ocena optymalnej rozdzielczości modeli z wykorzystaniem charakterystyk analizowanego zbioru danych	
XI. Literatura	
XII. Załączniki	
1. Zestawienie stacji meteorologicznych i posterunków opadowych zlokalizowanych na terytorium Niemiec, z których dane sum dobowych opadów zostały wykorzystane w niniejszej pracy	
2. Opis zawartości załączonego dysku DVD	
2.1. Wstęp	

- 2.2. Używane formaty plików
- 2.3. Spis zawartości dysku
 - 2.3.1. Dane źródłowe
 - 2.3.2. Numeryczne i graficzne wyniki analiz
 - 2.3.3. Wersje elektroniczne kolorowych rycin i tabel
 - 2.3.4. Pliki instalacyjne programów komputerowych

XIII. List of figures and tables

Analysis of the spatial and spatial-temporal structure of maximum daily precipitation in Poland in the years 1956-1980 (Summary)

Podziękowania

Tak duże przedsięwzięcie, jakim było przygotowanie niniejszej rozprawy, z pewnością by się nie powiodło, gdyby nie życzliwa atmosfera i pomoc wielu osób. Miłym obowiązkiem autora jest więc złożenie im wszystkim najserdeczniejszych podziękowań.

Od początku swojej pracy zawodowej jestem członkiem zespołu kierowanego przez prof. dr hab. Andrzeja Kostrzewskiego (obecnie Zakładu Geoekologii UAM). Stworzone przez Profesora doskonałe warunki pracy i twórcza atmosfera dyskusji naukowych stanowiły fundament na którym wszystko zostało zbudowane.

W problematykę zmienności przestrzennej opadów atmosferycznych wprowadził mnie prof. dr hab. Jan Tamulewicz. Naszą harmonijną współpracę przerwała choroba i śmierć Janka. To, co jest tematem niniejszej rozprawy planowaliśmy zrobić razem. Wszystkie jej niedoskonałości to skutek tej wielkiej straty.

Czasochłonne, i wymagające także znaczących środków finansowych, prace nad analizą ekstremalnych opadów nie byłyby pewnie możliwe w tak szerokim zakresie i tak szybko, gdyby nie mój udział w projekcie badawczym koordynowanym przez prof. dr hab. Jacka Janię z Uniwersytetu Śląskiego. Inspirujące i pouczające dyskusje w trakcie roboczych spotkań członków zespołu realizującego projekt miały duży wpływ na końcowy rezultat mojej pracy.

Pierwszą, bardzo jeszcze niedoskonałą jej wersję, przeczytał cierpliwie i wnikliwie prof. UAM dr hab. Waldemar Ratajczak. Jego uwagi, w pierwszej chwili niekiedy irytujące, najczęściej, po dłuższym zastanowieniu, okazywały się cenne i trafne. Dzięki temu mogłem wyeliminować znaczną część braków i niejasności.

Zwięzła i niezwykle konkretna recenzja, oraz dyskusje prowadzone z prof. dr hab. Andrzejem Kędziorą stanowiły impuls do przeprowadzenia wielu zmian i uzupełnień. Między

innymi pod wpływem sugestii Pana Profesora zmieniłem układ pracy na bardziej, mam nadzieję, przejrzysty.

Pani mgr Anna Dmowska poświęciła znaczną część wakacyjnego czasu na przeprowadzenie długotrwałych obliczeń w programie IKSIM i żmudne ich przygotowanie.

Wiele osób pomagało mi na etapie tworzenia i weryfikowania bazy danych. Niniejsza praca niezwykle zyskała dzięki licznym dyskusjom prowadzonym z koleżankami i kolegami z Zakładu oraz Instytutu. Nie wymieniam ich wszystkich po imieniu i nazwisku, ale zawsze będę pamiętał ich pomoc oraz życzliwe zainteresowanie.

Nie byłoby jednak ani tego pomysłu, ani jego realizacji, gdyby nie codzienne wsparcie i motywacja w chwilach kryzysu udzielane mi zawsze przez Najbliższych.

I

Wprowadzenie

Jednym z bardziej niepokojących wyników prognoz wykonywanych przy zastosowaniu globalnych (ang. GCM) i regionalnych modeli klimatycznych (Bell i in. 2004, Christensen, Christensen 2004, Fowler i in. 2005, Frei i in. 1998, Hennessy i in. 1997, Kharin i in. 2007, Palmer, Räisänen 2002, Semmler, Jacob 2004, Wehner 2004) jest wysokie prawdopodobieństwo wzrostu częstości i natężenia ekstremalnych opadów. Koresponduje to z wieloma opublikowanymi analizami archiwalnych serii pomiarowych wskazującymi na pojawianie się w drugiej połowie XX wieku takich tendencji (Dore 2005, Groisman i in. 2005, Kiktev i in. 2003, Klein Tank, Können 2003, Koning, Franses 2005, Kundzewicz i in. 2005, Kunkel 2003, Kunkel i in. 1999, New i in. 2001, Trömel, Schönwiese 2007, Zolina i in. 2005). Poznanie prawidłowości powtarzalności i zasięgu przestrzennego ekstremalnych opadów ma oczywiście, bardzo duże znaczenie zarówno gospodarcze, jak i społeczne (Douglas, Barros 2003, Durrans, Kirby 2004, Faulkner, Prudhomme 1998, Frei i in. 2000, Kothavala 1997, Kundzewicz 2005, Rezacova i in. 2005, Ulbrich i in. 2003). Pełne możliwości badania tych problemów umożliwia jedynie łączenie punktowych pomiarów naziemnych¹ z obszarowymi danymi teledetekcyjnymi² (Haberlandt 2007, Nesbitt i in. 2004, New i in. 2001). Niestety, stosunkowo krótki okres dostępności danych teledetekcyjnych oraz trudności w dokonywaniu na ich podstawie precyzyjnej oceny intensywności opadów utrudnia formułowanie uogólnień. Dlatego, niezależnie od wprowadzania nowych technik pomiarowych należy dokonywać analizy i reinterpretacji archiwalnych danych, korzystając z możliwości stwarzanych przez rozwój GIS (Dobesch i in. 2001, Tveito i in. 2006).

Dotychczasowe analizy maksymalnych opadów dobowych, występujących na obszarze Polski, z punktu widzenia współczesnych możliwości i potrzeb, mają istotne słabości (Bogdanowicz, Stachý 1998, Fal, Plenzler 1981, Kłysik, Fortuniak 1993, Ustrnul, Czekierda

¹ Rejestracje pluwiograficzne i pomiary za pomocą deszczomierzy: ilościowe, bezpośrednie, ciągłe i/lub okresowe.

² Radary meteorologiczne i obrazowanie satelitarne: pośrednie pomiary ilościowe.

2000). Po pierwsze, wykonywano je na podstawie niewielkiej części dostępnych zbiorów danych. Przyczyną tego stanu rzeczy było z jednej strony traktowanie bardzo rygorystycznie warunków kompletności danych i równomierności pokrycia, a także ówczesne trudności „techniczne” przetwarzania dużych ich zbiorów. Po drugie, wykorzystywany aparat matematyczny skoncentrowany był na analizie czasowej, najczęściej powtarzalności opadów z określonych klas wysokości. Tworzone w końcowym etapie owych opracowań mapy dawały w związku z tym bardzo zgeneralizowany obraz zmienności przestrzennej.

Większość modeli stosowanych do symulacji globalnego systemu klimatycznego i prognozowania skutków antropogenicznych zmian bilansu promieniowania jest wykorzystywana głównie do uzyskiwania stosunkowo prostych wskaźników klimatycznych, głównie o charakterze czasowym, jak na przykład: średnie temperatury roczne czy sezonowe, sumy roczne lub sezonowe opadów, przeciętna wydajność opadów itp. Symulowane wartości tych wskaźników wykazują już bardzo dużą zgodność z danymi pomiarowymi, co zwiększa zaufanie do długookresowych prognoz klimatycznych. Często jednakże, kiedy takiemu porównaniu poddawane są bardziej skomplikowane parametry klimatyczne, między wynikami symulacji a rzeczywistością istnieją duże rozbieżności. Trenberth i in. (2003) jako główną myśl swojego artykułu umieścili następujące zdanie: *W efekcie zmian klimatycznych w reżimie opadów najprawdopodobniej zmianie ulegnie intensywność, frekwencja i czas trwania epizodów opadowych, lecz te charakterystyki są bardzo rzadko analizowane zarówno na podstawie danych pomiarowych, jak i w modelach*³. Tezę tę zilustrowali następnie kilkoma przykładami. Należałoby ją uzupełnić jednak o stwierdzenie, że w wypadku nieciągłych elementów meteorologicznych – jakimi są opady – zmiany dotyczyć mogą zarówno ich charakterystyk czasowych, jak i przestrzennych. Zmiany rejestrowanej punktowo frekwencji opadów w różnych klasach intensywności, czy czasu trwania, mogą bowiem wiązać się zarówno z rzeczywistą zmianą częstości ich występowania, jak i zmianami ich zasięgu przestrzennego. Tak więc, obserwowany wzrost „ilości” ekstremalnych deszczy może się wiązać jedynie z ich większym zasięgiem przestrzennym, bez żadnych zmian reguł ich powtarzalności⁴. Omówiony powyżej problem wymaga większej uwagi niż mu do tej pory poświęcano. Analizy zmian charakterystyk klimatu, które do tej pory koncentrowały się prawie wyłącznie na ich aspekcie czasowym, powinny także uwzględniać potencjalną ewolucję struktury przestrzennej. Konieczne jest za-

³ „As climate changes, the main changes in precipitation will likely be in the intensity, frequency, and duration of events, but these characteristics are seldom analyzed in observations or models”. Trenberth i in. 2003: s. 1.

⁴ Można sobie wyobrazić nawet taką sytuację, że rejestrowana punktowo frekwencja opadów z danej klasy intensywności/czasu trwania może wzrosnąć, nawet jeśli częstość procesów je generujących zmaleje. Większe znaczenie bowiem będzie miał wzrost ich zasięgu przestrzennego.

tem opracowanie na podstawie archiwalnych danych wieloletnich podstawowych charakterystyk tej struktury, które mogłyby być punktem odniesienia dla testowania możliwości istnienia ewentualnych trendów ich zmian.

Celem niniejszej rozprawy jest przeprowadzenie wszechstronnej analizy struktury przestrzennej wyselekcjonowanego zbioru wysokich opadów, którymi są publikowane w rocznikach opadowych PIHM i IMGW z lat 1954-1981 maksymalne sumy dobowe (określane w dalszej części niniejszej pracy jako **MSDO**), rejestrowane dla poszczególnych miesięcy w posterunkach opadowych i stacjach meteorologicznych⁵. Pojęcie „struktura przestrzenna” jest rozumiane w sensie zdefiniowanym na gruncie geostatystyki (Chilès, Delfiner 1999, Cressie 1993, Deutsch, Journel 1998, Goovaerts 1997, Olea 1999, Wackernagel 2003, Webster, Oliver 2001), jako prawidłowości zmian zasięgu i siły autokorelacji przestrzennej analizowanej cechy.

Podjęty temat ma również aspekt praktyczny. Rejestracje opadów wykonywane za pomocą radarów meteorologicznych lub satelitów mają charakter pośredni. Aby można je wykorzystać do oceny rzeczywistej dostawy wody do powierzchni ziemi muszą zostać skalibrowane. Wykonuje się to bardzo często z użyciem metod geostatystycznych, na podstawie synchronicznych z pomiarami teledetekcyjnymi, punktowych pomiarów naziemnych (Grimes i in. 1999, Haberlandt 2007, New i in. 2001, Sun i in. 2003). Takie procedury są między innymi testowane również w Polsce (Jurczyk i in. 2004, 2007). Podstawą każdej geostatystycznej metody estymacji i symulacji jest określenie w postaci parametrycznej modelu struktury przestrzennej analizowanej cechy. Stworzenie bazy danych takich modeli oraz wykazanie prawidłowości ich powtarzalności może mieć w tym kontekście duże znaczenie.

Autor niniejszej pracy od blisko dziesięciu lat specjalizuje się aplikacjach metod analizy przestrzennej do badania i rozwiązywania problemów z zakresu nauk o Ziemi (Górska-Zabielska, Stach 2008, Stach 1998, 1999, 2002a, 2002b, 2002c, 2005, 2006a, 2007c, Stach, Podsiadłowski 2000, 2001, 2002, Stach, Tamulewicz 2003, Stach i in. 2003a, 2003b). Z tego właśnie względu, choć głównym motywem podjęcia tematu była chęć zmierzenia się z konkretnym zagadnieniem klimatologicznym, to aspekt metodyczny jest traktowany jako równie ważny. Przedstawiono bowiem w tym zakresie szereg nowych, nie tylko na gruncie polskim, propozycji analizy przestrzennej danych ekstremalnych opadów. Autor skupił się bardziej na szerokim, wszechstronnym omówieniu rezultatów wykonanych obliczeń, zachowując dużą ostrożność w formułowaniu daleko idących uogólnień. Powściągliwość w interpretacji wyni-

⁵ Pełne omówienie celu rozprawy znajduje się w podrozdziale III.1, a szczegółową charakterystykę analizowanych danych zamieszczono w rozdziale V.

ka także z innej przyczyny. Mimo bardzo wnikliwej kwerendy literatury tematu nie udało się znaleźć znaczących publikacji, które mogłyby stanowić punkt odniesienia do wyników uzyskanych w ramach niniejszej pracy. Świadczy to albo o oryginalności niniejszej rozprawy, albo o braku zainteresowania badaczy marginalnym zagadnieniem. Problem braku wypracowanych wzorców interpretacji był jednak dla autora z jednej strony ekscytującym źródłem motywacji do intensywniejszej pracy intelektualnej, ale z drugiej także powodem wielu frustracji. Dołączony do pracy materiał faktograficzny powinien jednakże umożliwić zainteresowanym badaczom pogłębienie i poszerzenie problematyki w tych zakresach, gdzie być może została ona poruszona zbyt powierzchownie. Autor ma nadzieję, że niniejsze opracowanie okaże się także pożyteczne z punktu widzenia praktyki w takich dziedzinach, jak gospodarka wodna, ochrona środowiska, rolnictwo czy planowanie przestrzenne.

Rozprawę wykonano w trakcie realizacji zamawianego projektu badawczego PBZ-KBN-086/P04/2003: „Ekstremalne zdarzenia meteorologiczne i hydrologiczne w Polsce (ocena zdarzeń oraz prognozowanie ich skutków dla środowiska życia człowieka)”, kierowanego przez prof. dra hab. Jacka Janię z Uniwersytetu Śląskiego. Zaprezentowana w niej problematyka jest częścią realizowanego przez autora znacznie szerszego tematu badawczego. Obejmował on obok analizy i modelowania struktury przestrzennej maksymalnych sum opadów dobowych także estymację i symulację pola prawdopodobieństwa MSDO. Uzyskane w tym zakresie wyniki miałyby, oprócz dużych walorów dla różnych dziedzin praktyki, istotne znaczenie dla lepszego zrozumienia mechanizmów generujących MSDO w różnych skalach czasoprzestrzennych oraz dla regionalizacji klimatycznej kraju. Autor rozwinął tę problematykę także w kierunku szczególnie go interesującym – probabilistycznej oceny zmienności na terytorium Polski potencjału erozyjnego ekstremalnych opadów. W trakcie pracy stwierdzono jednak wkrótce, że jej zakres tematyczny, a przede wszystkim „objętość”, przekracza znacznie ramy typowej rozprawy habilitacyjnej. Zdecydowano zatem wydzielić tę jej część, która ma większy ładunek metodyczny i poznawczy, nie rezygnując, oczywiście, z realizacji całości planu. Część wstępnych wyników została zresztą zaprezentowana już na konferencjach naukowych i opublikowana (Stach 2006b, 2006c, 2006d, 2006e, Stach 2007a, 2007b). Zamieszczone powyżej wyjaśnienie ma istotne znaczenie, ponieważ szereg ważnych decyzji metodologiczno-metodycznych podjęto z uwagi na cały zaplanowany zakres tematu, a nie tylko zawartą w niniejszej rozprawie jego część. Z tego względu czytelnik powinien poznać w ogólnym zarysie owo inicjalne założenie w celu zorientowania się, jakie możliwości ono otwiera, a jednocześnie jakie ograniczenia wprowadziło do sposobu opracowania głównego problemu niniejszej rozprawy.