

IX

Podsumowanie i wnioski

Zestawienie szczegółowych wyników pracy zamieszczono po każdym rozdziale analitycznym (podroz. V.9, VI.10, VII.9 i VIII.7). W tym miejscu uwaga zostanie skupiona na bardziej ogólnych refleksjach zarówno natury metodycznej, jak i merytorycznej.

Na podkreślenie zasługuje przede wszystkim najbardziej ogólny wniosek wypływający z przeprowadzonych prac: dane maksymalnych sum dobowych opadów, zarówno miesięcznych jak i rocznych, wykazują na terenie Polski klarowne prawidłowości zróżnicowania przestrzennego. Mogą one być matematycznie modelowane i służyć zarówno do celów lepszego zrozumienia mechanizmów kształtujących pole opadów, jak i do tworzenia prognoz dla potrzeb praktyki. Kiedy zainteresowano się tym tematem, efekt taki wcale nie był oczywisty. Wręcz przeciwnie, nieciągłość przestrzenna opadów w skali jednej doby oraz asynchroniczność danych MSDO rodziły obawy, że relacje te będą na tyle niewyraźne, iż nie da się zidentyfikować żadnych istotnych prawidłowości. W dotychczas opublikowanych pracach odnośnie struktury przestrzennej opadów tego typu danych jeszcze nie analizowano.

Pole MSDO na obszarze Polski jest najczęściej efektem sumowania się skutków działania trzech typów procesów operujących w różnych skalach przestrzennych: lokalnej (<10-20 km), regionalnej (50-150 km) i ponadregionalnej (>200 km). Wyróżnione skale przestrzenne wiążą się prawdopodobnie z konwekcyjną/ orograficzną, synoptyczną (frontalną) i „klimatologiczną” genezą wysokich opadów (fale planetarne?). Ich udział jest bardzo zmienny. Generalnie dominują jednak wysokie sumy dobowe opadów o rozciągłości przestrzennej od 50 do 150 km związanych z zjawiskami mezoskalowymi i migracją frontów atmosferycznych (35-38%). Obszary wysokich opadów w skali lokalnej mają częściej zasięgi zmieniające się w przestrzeni losowo, szczególnie w cieplej porze roku. W skalach ponad lokalnych dominują struktury o powtarzalnych rozmiarach.

Również wykazanie, że mimo dużej, typowej dla klimatu Polski zmienności, parametry charakteryzujące strukturę przestrzenną MSDO wykazują wyraźną cykliczność sezonową oraz zróżnicowanie zależne od wysokości opadów, może być uznane za ważne osiągnięcie. Potwierdzono bowiem nie tyle dość oczywiste hipotezy, ale przede wszystkim dostarczono informacji ilościowych umożliwiających bliższą charakterystykę typu i skali owych prawidłowości. Zmienność sezonowa udziału składnika losowego (wariancji nuggetowej) jest na przykład bardzo zbliżona do średniego wieloletniego przebiegu współczynników korygujących błędy standardowych pomiarów opadów. Ich źródłem jest przede wszystkim turbulencja spowodowana wiatrem, występowanie opadów w postaci stałej, ale także straty związane z parowaniem i zwilżaniem. Stwierdzono również, że bezwzględna wielkość C_0 jest uzależniona także od zmienności pola MSDO, zarówno globalnej, jak i lokalnej. Również względny udział wariancji pierwszej składowej wykazuje wysoce istotną zmienność sezonową z maksimum w czerwcu i maju oraz minimum w październiku. Taki cykl roczny odzwierciedla prawdopodobnie zmienny udział opadów konwekcyjnych – maksymalny w miesiącach o największych kontrastach termicznych. Charakterystyki struktury przestrzennej MSDO są bardziej uzależnione od względnej, związanej z usytuowaniem w ramach dystrybucji empirycznej, niż bezwzględnej sumy opadów.

Analizowane wielolecie było zbyt krótkie, aby móc ocenić w sposób wiarygodny długotrwałe tendencje związane z ewolucją klimatu. Stwierdzone jednak zmiany elementów struktury przestrzennej związane głównie ze zjawiskami zachodzącymi w skali lokalnej wskazują, że hipoteza postawiona na początku niniejszej rozprawy (por. rozdz. I), a dotycząca potencjalnego wpływu zmian struktury przestrzennej ekstremalnych opadów na rejestrowaną punktowo ich częstość, stwarza obiecującą perspektywę badawczą i powinna być dalej weryfikowana. Spadek lokalnego zróżnicowania wysokich opadów w okresie zimowym wymaga głębszej refleksji nad jego genezą w kontekście innych źródeł danych.

Na podstawie estymacji gęstości skupień wydzielono 14 okresów o zmiennym poziomie i gradiencie prawdopodobieństwa wystąpienia rocznych MSDO w różnych klasach wysokości. Okresy te trwają od 12 do 58 dni. Jakkolwiek na obszarze naszego kraju roczna MSDO może potencjalnie wystąpić każdego dnia, to prawdopodobieństwo jej wystąpienia jest w okresie między 16 grudnia a 19 marca skrajnie niskie. Z drugiej strony możliwość, że taki fakt nastąpi między 21 kwietnia a 5 listopada wynosi aż 95,6%. Okres, kiedy szansa na wystąpienie rocznej MSDO jest największa, trwa od 28 czerwca do 22 sierpnia. Krzywa prawdopodobieństwa swoje maksimum roczne osiąga 23 lipca. Od połowy grudnia do końca

marca dominują roczne MSDO mniejsze od 20 mm. Od połowy czerwca do ostatniej dekady sierpnia najczęściej występują roczne MSDO o wysokości około 40 mm i więcej. W pozostałej części roku klasą dominującą są opady w przedziale 20-40 mm. Maksimum prawdopodobieństwa wystąpienia rocznych MSDO z poszczególnych klas wysokości zawiera się w krótkim okresie między 20 a 26 lipca. Średnie daty występowania MSDO wahają się w Polsce od 27 czerwca (178 dzień roku) do 11 sierpnia (223 dzień). Zmienność terminów występowania rocznych MSDO mimo losowego charakteru najwyższych opadów, okazała się być wyraźnie zróżnicowana regionalnie. Stanowi ona, jak się wydaje, efekt czynników działających w różnych skalach, a jednym z ważniejszych jest ogólny gradient oceaniczno-kontynentalny pomiędzy Europą Zachodnią i Wschodnią, modyfikowany przez bezpośrednie oddziaływanie Bałtyku oraz topografii terenu. Stwierdzono, że dane terminów występowania rocznych MSDO wykazują również wyraźną autokorelację przestrzenną, która może być modelowana w standardowy sposób. Przeciętne zasięgi składowych modeli struktury przestrzennej terminów MSDO są zbliżone do tych, jakie stwierdzono dla ich wysokości (15,8, 102,8 i 180 km). Całkowita zmienność przestrzenna terminu występowania rocznych MSDO jest głównie, bo w około 69%, kształtowana przez opady o krótkim zasięgu (z pojedynczych komórek konwekcyjnych) i czynniki losowe wpływające na ich wewnętrzną strukturę oraz przemieszczanie.

Jakkolwiek wyniki wykonanych analiz rzuciły sporo światła na problematykę zmienności przestrzennej najwyższych sum dobowych opadów, to jednak sporo zostało jeszcze do zrobienia. Wiele stwierdzonych prawidłowości wymaga głębszej interpretacji genetycznej, trudnej, czy wręcz niemożliwej do przeprowadzenia bez dodatkowych danych i szerszego kontekstu ich analizy.

Szczególną uwagę należy poświęcić na studia poszczególnych przypadków, typowych dla wyróżnionych klas struktury przestrzennej. Do ich przeprowadzenia konieczny jest kompletny zbiór dobowych sum opadów z terenu całej Polski, obejmujących kilkudniowy okres przed, w trakcie i po analizowanym epizodzie, a przede wszystkim mapy synoptyczne ukazujące warunki tworzenia opadów.

Inny potencjalny owocny kierunek, niewymagający pracochłonnego tworzenia nowych baz danych, stanowi zbadanie relacji pomiędzy pojawianiem się wyróżnionych typów struktury przestrzennej miesięcznych i rocznych MSDO a częstością pojawiania się nad Polską różnych mas powietrza, określonych na podstawie kalendarzy typów cyrkulacji (Lityński 1969, Stępniewska-Podraźka 1991).

Uwagę należy również poświęcić potencjalnemu regionalnemu zróżnicowaniu struktury przestrzennej maksymalnych opadów dobowych. Stwierdzone w niniejszej pracy prawidłowości mają najprawdopodobniej zastosowanie dla obszaru znacznie większego niż terytorium naszego kraju, być może w dużym stopniu dla całej strefy klimatu umiarkowanego wilgotnego. Regionalne odmienności dotyczyć zatem będą nie charakterystyk jakościowych, ale przede wszystkim, mniej lub bardziej wyraźnych, statystycznych różnic w częstotliwości pojawiania się i względnym znaczeniu poszczególnych składowych. Badanie takiego zróżnicowania jest aktualnie jak najbardziej możliwe i planowane w ramach kolejnego etapu prac. Wydaje się, że ze względu na skokowe, jakościowe i ilościowe, zróżnicowanie reżimu opadów w Polsce pomiędzy Nizem i pasem wyżyn a górami, analizę taką należy przeprowadzić osobno dla obu obszarów, korzystając z charakterystyk struktury przestrzennej obliczanych lokalnie w ruchomym oknie (Hass 1990). Przy takim wariacie obliczeń uwzględniona mogłaby być także w pełni anizotropia (por. rozdz. III.2.E). Niestety, do tej pory nie opracowano zadowalającej automatycznej procedury tworzenia anizotropowych modeli struktury przestrzennej. Być może problem będzie można rozwiązać stosując podejście nieparametryczne (Yao, Journel 1998, Ma, Yao 2001), połączone z przestrzenną PCA (Stach, Tamulewicz 2005a).

Obiecującą perspektywę stanowi również możliwość wykonywania dla rocznych MSDO kosymulacji, zarówno ich wysokości jak i czasu wystąpienia. Jest to logiczną konsekwencją istnienia autokorelacji przestrzennej zarówno w zbiorze sum opadów, jak i terminów ich pojawiania się. Dzięki temu będzie można wykonywać wiarygodne, w pełni probabilistyczne, czasoprzestrzenne oceny ryzyka wysokich opadów w skali regionów, a nawet średniej wielkości zlewni rzecznych. Do tej pory robiono to wyłącznie na podstawie danych punktowych, których reprezentatywność przestrzenna była trudna do zweryfikowania. Nieznane były relacje skali pozwalające na „konwersję” prawdopodobieństw punktowych na obszarowe.

Semiwariogramy empiryczne danych MSDO mają charakter złożony – składają się z dwóch do pięciu modeli elementarnych. Jest to zazwyczaj interpretowane, jak to już wspomniano wcześniej, jako wynik działania i sumowania się efektów zjawisk operujących w różnych skalach przestrzennych. Można to przyrównać do hałasu ulicznego powstałego poprzez „mieszanie się” dźwięków pochodzących z różnych źródeł: samochodów, tramwajów, ludzi itp. Dźwięki te poprzez swoje specyficzne cechy: amplitudę, częstotliwość, wysokość itp. mogą być jednak łatwo zidentyfikowane i oddzielone od siebie (odfiltrowane).

Dokonywane jest to w pewnym stopniu w mózgu każdej osoby słyszającej hałas, a bardziej precyzyjnie przez inżyniera akustyka, za pomocą odpowiednich urządzeń technicznych. Tego typu zabieg rozdzielania, czy odfiltrowania, składowych „mieszaniny”, możliwy jest też w przypadku danych przestrzennych. Nosi on nazwę krigingu czynnikowego (ang. *factorial kriging*, Deutsch, Journal 1998, Goovaerts 1997). Warunkiem uzyskania sensownych wyników jest niezależność składowych oraz ich „prosta” addytywność. W odniesieniu do danych MSDO być może nie zawsze spełniane jest pierwsze kryterium – w sytuacji kiedy komórki konwekcyjne stanowią element złożonych układów frontalnych. Mimo to, metoda krigingu czynnikowego stwarza obiecującą możliwość rozdzielania, i ilościowej oceny, głównych komponentów tworzących pole MSDO.