

## Streszczenie

Doniesienia literatury fachowej dotyczącej przetwarzania danych opadowych do projektowania i modelowania systemów odwodnienia jednoznacznie wskazują na konieczność stosowania atlasów opadowych, a więc pełnej i możliwie precyzyjnej w przestrzeni informacji o miarodajnych wysokościach (natężeniach) deszczów miarodajnych w funkcji ich czasów trwania i częstości (prawdopodobieństwie) występowania. Atlasy takie są trudne do opracowania dla wielu obszarów świata z uwagi na brak dostępu do wieloletnich baz danych z rejestracji deszczomierzowych w wysokiej rozdzielczości czasowej rzędu co najmniej 10 min. Nawet w krajach o rozwiniętej służbie meteorologicznej i stosunkowo dobrym pokryciu terenu przez stacje opadowe, realizacja atlasów opadowych napotyka na trudności związane z nieciągłością poszczególnych serii pomiarowych i przede wszystkim skomplikowanym warszatem niezbędnym do prawidłowej interpolacji przestrzennej maksimów opadów, modelowanych jedynie w sposób dyskretny w lokalizacjach poszczególnych deszczomierzy. Na wszystko to nakłada się obserwowana coraz wyraźniej tendencja do redukcji liczebności wielu sieci deszczomierzowych z uwagi na koszty obsługi przyrządów naziemnych i coraz większą koncentrację na pomiarach zdalnych z wykorzystaniem technik ang. remote sensing, w tym przede wszystkim pomiarach satelitarnych i radarowych.

Mając na uwadze powyższe przesłanki podjęto badania, których zasadniczym celem było porównanie modeli opadowych bazujących na danych pomiarowych z radarów opadowych i deszczomierzy na obszarze całej Polski. Na ich wstępie sformułowano dwie tezy badawcze:

1. Maksymalne natężenia i wysokości opadów uzyskiwane z produktów radarowych mogą być oszacowaniami równoważnych im maksymalnych natężeń chwilowych i wysokości opadów z deszczomierzy,
2. Szeregi rozdzielcze maksymalnych natężeń opadów wydzielanych z produktów radarowych mogą być podstawą sporządzania lokalnych modeli opadowych równoważnych lokalnym modelom opracowywanym na podstawie szeregów opadowych z deszczomierzy.

Materiałem badawczym wykorzystanym w pracy były szeregi opadowe zarejestrowane przez deszczomierze z wielolecia 2007 - 2015 (stanowiące część cyfrowej bazy opadowej Atlasu PANDa) oraz szeregi czasowe produktów radarowych typu SRI i PAC z systemu POLRAD dla 98 lokalizacji z terenu całej Polski. Dysponowano zestawem czternastu produktów SRI oraz PAC wyeksportowanych dla lokalizacji deszczomierzy projektu PANDa znajdujących się w zasięgu systemu POLRAD. W tym zestawie wyjściowymi były 10-min szeregi czasowe wartości SRI i PAC typu POINT (w danym pikselu o wymiarach 1 km × 1 km), a także szeregi lokalnie skorygowanych przestrzennie wartości typu GRID (analizowanych w kwadratach powstałych z połączenia pobliskich pikseli, o rozmiarach 3 km × 3 km lub 5 km × 5 km). Wartości SRI i PAC typu GRID były ustalone jako równe: maksimum z całego GRID (max), wartości średniej (avg) lub wartości średniej bez uwzględnienia pikseli z brakiem opadu (avgNo0).

W ramach badań własnych przeprowadzono sekwencję analiz polegającą na:

- Porównaniu sum rocznych opadów zarejestrowanych przez deszczomierze i różne produkty radarowe w miesiącach o dodatnich temperaturach (od maja do września);
- Ocenie zgodności, co do liczby i wysokości rejestrowanych opadów nawalnych przez deszczomierze i produkty radarowe;
- Analizie skorelowania czasowego szeregów czasowych produktów radarowych oraz wydzielonych z nich serii opadów nawalnych względem referencyjnych szeregów i serii opadów nawalnych z deszczomierzy;
- Wydzieleniu i wzajemnym porównaniu szeregów rozdzielczych maksimów fazowych opadów z szeregów czasowych produktów radarowych i rejestracji deszczomierzowych dla hierarchii 18 czasów trwania od 10 min do 4320 min;
- Opracowaniu modeli opadowych (probabilistycznych modeli typu D-D-F) poprzez dopasowanie sześciu różnych typów rozkładów statystycznych, takich jak: uogólniony rozkład gamma, rozkład Weibulla (2-parametrowy), uogólniony rozkład wykładniczy (3-parametryczny), rozkład wykładniczy (2-parametryczny), rozkład logarytmiczny normalny, uogólniony rozkład Pareto;
- Identyfikacji najlepszego rozkładu statystycznego do opisu maksimów fazowych wydzielonych dla rejestracji deszczomierzowych i radarowych oraz wyłonieniu produktu radarowego zapewniającego otrzymanie modelu opadowego o najwyższej zgodności z modelem opadowym bazującym na lokalnych danych deszczomierzowych.

Przeprowadzenie powyższej sekwencji badawczej wymagało pracy z dużymi zbiorami danych, w tym doboru 158760 rozkładów statystycznych opadów maksymalnych dla 98 stacji w Polsce, dla 18 czasów trwania opadów, 14 różnych produktów radarowych i referencyjnych danych z deszczomierzy. Ocena jakości dobranych rozkładów opadów maksymalnych bazujących na danych radarowych i ich podobieństwa względem referencyjnych rozkładów opadów maksymalnych z deszczomierzy była prowadzona z użyciem kryteriów informacyjnych (AICc, BICc i HQIC), statystyk testowych ( $\lambda$ ,  $\chi^2$  i A-D) oraz miar błędów (MAE, MAPE i MSE). Realizacja wszystkich wyżej wymienionych zadań była możliwa dzięki opracowaniu autorskiej biblioteki oprogramowania PANDAS POLRAD w języku Pythone.

Uzyskane wyniki badań pozwoliły na potwierdzenie tezy pracy oraz sformułowanie jedenastu wniosków końcowych. Stwierdzono przede wszystkim, że w przypadku nielicznych zbiorów maksimów opadów, wydzielanych z użyciem metody POT, z krótkich szeregów deszczomierzowych, jak i wszystkich 14 analizowanych produktów radarowych w Polsce, najlepszym typem rozkładu do ich opisu jest rozkład wykładniczy. Równocześnie niezależnie od stosowanego kryterium oceny, produktami radarowymi predysponowanymi do budowy modeli opadowych są bardziej zaawansowane produkty hydrologiczne typu PAC: PAC\_GRID\_5\_max, PAC\_GRID\_3\_max i PAC\_POINT. Na koniec podkreślono, że przyjmując jeden uniwersalny typ rozkładu statystycznego, czyli rozkład wykładniczy i jeden uniwersalny produkt radarowy, czyli PAC\_GRID\_5\_max dla obszaru całego kraju należy się spodziewać średniej wartości błędu MAPE (estymat z modeli radarowych dla częstości od C=1 rok do C=10

lat w odniesieniu do referencyjnych estymat z modeli deszczomierzowych) oscylującej średnio około 30%, dla czasów trwania od 10 min do 4320 min, w zbiorze 98 stacji z całej Polski.

**Słowa kluczowe:** radar meteorologiczny, deszczomierz, hydrologia miejska, maksima opadów, modele opadowe, atlasy opadowe, krzywe D-D-F