

## METODY ANALIZ PRZESTRZENNYCH W BADANIU ZMIENNOŚCI OPADÓW W EUROPIE

### THE METHODS OF SPATIAL ANALYSIS FOR PRECIPITATION FIELDS IN EUROPE

Ewa Łupikasza

Katedra Klimatologii, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski

**Słowa kluczowe:** GIS, metody interpolacji, opady atmosferyczne, kontynentalizm opadowy  
Keyword: GIS, interpolation methods, atmospheric precipitation, pluvial continentality

### Wstęp

Dane klimatologiczne w tradycyjnym ujęciu są wartościami poszczególnych elementów meteorologicznych pozyskanych na drodze pomiarów prowadzonych w nierównomiernie rozmieszczonych na powierzchni globu stacjach meteorologicznych - są więc danymi punktowymi. Prezentacja ich przestrzennego rozkładu wymaga zastosowania metody pozwalającej na podstawie danych punktowych wygenerować powierzchnię obrazującą przestrzenną zmienność danego elementu klimatu. Możliwość pozyskania powierzchni na podstawie danych punktowych dają metody interpolacji, inaczej określane również jako metody analizy przestrzennej. Należy w tym miejscu wyjaśnić, że problematyka niniejszego opracowania nie dotyczy analiz przestrzennych w rozumieniu GIS-u statystycznego i funkcjonalnego, skupia się natomiast na takiej kategorii analiz przestrzennych, których celem jest, jak wspomniano powyżej, generowanie metodami statystycznymi obiektów powierzchniowych na podstawie danych punktowych.

Metody analizy przestrzennej w klimatologii stosowane były w czasach znacznie wyprzedzających pojawienie się systemów informacji geograficznej. W opracowaniach najstarszych do sporządzenia map klimatycznych wykorzystywano manualne metody interpolacji geometrycznej, później wraz z rozwojem technik komputerowych zastosowanie znalazły inne, bardziej skomplikowane metody statystyczno-matematyczne. Rzadko jednak, wybór sposobu analizy przestrzennej poprzedzony był wnikliwą oceną ich przydatności do prezentacji konkretnego elementu klimatu. W związku z powyższym, zasadniczym celem pracy jest wybór metody interpolacji najlepiej obrazującej przestrzenne zróżnicowanie pola opadów atmosferycznych, na podstawie dostępnych danych, w ujęciu klimatologicznym na przykładzie Europy.

Z przeglądu literatury dotyczącej zastosowania systemów informacji geograficznej w klimatologii wynika, że najczęściej ocenie podlegały wyniki interpolacji temperatury powietrza (Auer et al., 2000; Tveito i in., 2000; Dobesh i in., 2001; Klimaatlas... 2001; Bihari, 2002; Álvaro Pimpão, 2003; Quiel, Sobik, Rosiński, 2003; Ustrnul, Czekierda, 2003, 2005). Znacznie rzadziej zajmowano się problematyką analizy przestrzennej opadów atmosferycznych. Istniejące opracowania zwykle dotyczyły znacznie większych, aniżeli uwzględniona w niniejszym opracowaniu, skal przestrzennych oraz innych skal czasowych (Dahlström, 2001; Sobik, Netzel, Quiel, 2001; Sobolewski, 2001; Tveito, Schöner, 2002; Bac-Bronowicz, 2002, 2003; Stach, Tamulewicz, 2003; Loukas i in., 2004). Można wskazać co najmniej kilka powodów takiego stanu rzeczy. Opady atmosferyczne, w porównaniu z innymi elementami klimatu, charakteryzują się największą zmiennością przestrzenną. Wykazują silne związki z lokalnymi warunkami środowiska geograficznego, jednakże jednoznaczne określenie wspomnianych zależności, szczególnie w skali całego kontynentu, jest wysoce problematyczne. Wymienione powyżej cechy, a mianowicie duża zmienność przestrzenna, skomplikowana zależność od warunków lokalnych w połączeniu z ubogą oraz nierównomiernie rozmieszczoną siecią stacji meteorologicznych powodują, że analiza przestrzenna opadów atmosferycznych jest znacznie bardziej problematyczna aniżeli w przypadku częściowej rozpatrywanej temperatury powietrza.

## Metody i materiały

Podstawę opracowania stanowią średnie miesięczne sumy opadów atmosferycznych pochodzące z 816 stacji meteorologicznych zlokalizowanych w Europie oraz na obszarach sąsiednich (rys.1). Rozmieszczenie stacji meteorologicznych nie jest równomierne, co należy uznać za negatywną cechę z punktu widzenia metod interpolacji. Analizie poddano 4 wskaźniki opadowe obliczone na podstawie wartości miesięcznych: roczną sumę opadów, opady sezonu letniego oraz zimowego, jak również wskaźnik koncentracji opadów. Każda z uwzględnionych miar charakteryzuje się odmiennym zakresem zmian jak i wzorcem rozkładu przestrzennego w Europie, co podobnie jak rozmieszczenie punktów pomiarowych, posiada znaczący wpływ na wyniki analizy przestrzennej.

Wskaźnik koncentracji informuje o rozkładzie opadów w ciągu roku, w odróżnieniu od pozostałych uwzględnionych w opracowaniu charakterystyk opadów atmosferycznych, jest on obliczany za pomocą formuły matematycznej (Wilgat, 1949; Walsh, Lawler, 1981):

$$Wk = \left\{ \sum | m_i - R/12 | \times 100 \right\} / R \%$$

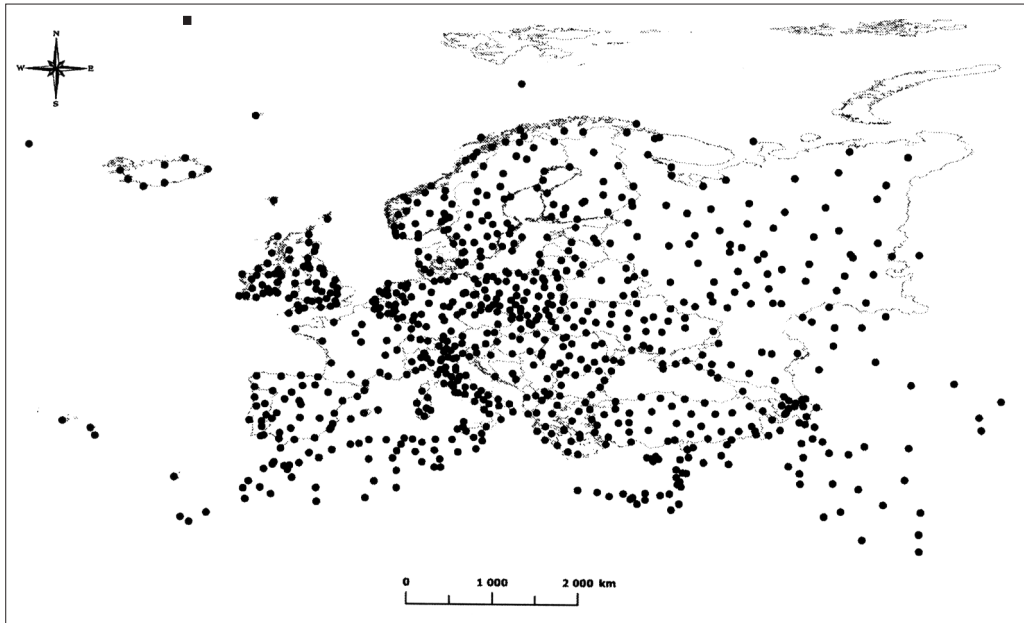
R – opad średni roczny

$m_i$  – opad średni w i-tym miesiącu

$R/12$  – opad średni miesięczny, przy równomiernym rozkładzie opadów w ciągu roku

$m_i - R/12$  – odchylenie od przeciętnej miesięcznej w i-tym miesiącu

W obszarach, w których opady są rozłożone równomiernie, to znaczy w każdym miesiącu roku spada podobna ich suma, wskaźnik koncentracji przyjmuje niskie wartości. Jeżeli zdecydowanie większa część opadów rocznych wypada tylko w kilku miesiącach roku, wówczas wartości omawianego wskaźnika są wysokie. Należy zaznaczyć, że jego zmien-



Rys. 1. Lokalizacja punktów pomiarowych

ność przestrzenna jest znacznie mniejsza w porównaniu z sumami opadowymi. Oprócz danych meteorologicznych w pracy uwzględniono również warstwę tematyczną zawierającą granice państw zlokalizowanych na kontynencie europejskim. Dane środowiskowe zostały zaczerpnięte z zasobów geograficznej bazy danych firmy ESRI.

Przed przystąpieniem do analizy przestrzennej wszystkie badane charakterystyki opadów poddano ocenie statystycznej w celu poznania wewnętrznej struktury danych. Do analizy przestrzennej opadów atmosferycznych wykorzystano pakiet oprogramowania ArcGIS firmy ESRI. Zastosowano zarówno metody deterministyczne (metodę odwróconych odległości ważonych – IDW, wielomianów globalną – GP, wielomianów lokalną – LP, radialne funkcje bazowe – RBF), jak i geostatystyczne (zwykły kriging – OK, prosty kriging – SK, uniwersalny kriging – UK oraz kriging rozłączny – DK), dostępne w narzędziach do geostatystycznej analizy danych (*Geostatistical Analysis Tools* – GAT). Przeprowadzając interpolację za pomocą narzędzi GAT można wykorzystać domyślne, automatycznie obliczane przez program wartości parametrów interpolacji, bądź też można je dowolnie modyfikować zgodnie ze strukturą materiału liczbowego. Poszukiwanie parametrów dających najlepsze wyniki interpolacji odbywało się metodą prób i błędów. Analizę przestrzenną każdego wskaźnika opadowego wykonano w sposób automatyczny, a następnie modyfikowano parametry tak, aby uzyskać najniższe błędy szacowanych wartości. Jakość kolejnych powierzchni wynikowych powstałych na drodze modyfikacji parametrów interpolacji oceniano na podstawie statystycznych charakterystyk błędu interpolacji, które zostaną omówione w dalszej części artykułu. Dodatkowo, w celu potwierdzenia oceny wyników interpolacji zastosowano prostą miarę podobieństwa, a mianowicie współczynnik korelacji, który wyznaczono pomiędzy pomierzonymi oraz oszacowanymi wartościami charakterystyk opadów w punktach pomiarowych.

## Ogólna charakterystyka metod analizy przestrzennej

U podstaw każdej metody interpolacji leży założenie, że wartość zmierzona w punkcie pomiarowym jest pewną jednostką informacji, która opisuje dane miejsce oraz z mniejszym prawdopodobieństwem otoczenie punktu. Zasięg oddziaływania informacji z punktu pomiarowego tworzy tak zwany obszar wpływu. Aby wyznaczyć wartość przez interpolację, należy w interesującym punkcie określić sumę obszarów wpływu punktów pomiarowych. W literaturze przedmiotu można odnaleźć co najmniej kilka sposobów podziału metod analizy przestrzennej, jednak według Z. Ustrnula i D. Czekierdy (2003) za najważniejszy należy uważać ten, który opiera się na teoretycznych i zarazem fizycznych podstawach ich funkcjonowania. Zgodnie z powyższym stwierdzeniem wyróżnia się stochastyczne, deterministyczne oraz kombinowane metody interpolacji. Różnice między algorytmami sprowadzają się do odmiennego szacowania kształtu i zasięgu obszarów wpływu punktów pomiarowych (Magnuszewski, 1999).

**Metody deterministyczne.** Metody deterministyczne obejmują szeroki zakres metod matematycznych wykorzystujących zarówno najprostsze algorytmy jak i skomplikowane procedury obliczeniowe (Tveito, Schöner, 2002). Nie wykorzystują teorii prawdopodobieństwa, oferują natomiast możliwość wyjaśnienia zróżnicowania przestrzennego danej zmiennej przyczynami fizycznymi (Ustrnul, Czekierda, 2003). Techniki deterministyczne dzielą się na dwie zasadnicze grupy: globalne oraz lokalne. Globalne techniki interpolują powierzchnię na podstawie całego zbioru danych. Techniki lokalne, szacują wartość parametru tylko na podstawie wartości w punktach zlokalizowanych w obrębie zdefiniowanego obszaru sąsiedztwa. Do lokalnych technik interpolacji dostępnych w ramach GAT zalicza się metodę globalną wielomianów, zaś do lokalnych metody: IDW, lokalną wielomianów i RBF. Deterministyczne metody interpolacji można także pogrupować na dokładne i przybliżone. Zastosowanie metod dokładnych powoduje, że najwyższe i najniższe wartości badanego parametru zawsze występują w punktach pomiarowych, podczas gdy w przypadku metod przybliżonych wartości skrajne mogą występować pomiędzy punktami pomiarowymi, czyli mogą być efektem procesu interpolacji.

**Metody geostatystyczne (stochastyczne).** Metody stochastyczne zawierają koncepcję losowości w analizie przestrzennej co oznacza, że interpolowana powierzchnia jest tylko jedną z wielu, które mogą być obserwowane przy tych samych danych punktowych. W związku z tym, iż metody te odwołują się do geostatystyki, często nazywane są metodami geostatystycznymi; zakładają że wartości pomierzone w blisko zlokalizowanych względem siebie punktach są bardziej podobne niż wartości pomierzone w punktach odległych. Do ilościowej oceny tych metod w analizie przestrzennej stosuje się wariograf lub funkcję kowariancyjną, które spełniają tutaj rolę miary korelacji przestrzennej. Metody stochastyczne pozwalają na obliczenie istotności statystycznej uzyskanej powierzchni oraz stopnia wiarygodności pozyskanych wartości.

W literaturze przedmiotu, jak już wspomniano powyżej, odnaleźć można jeszcze trzecią grupę metod, do której zaliczane są metody kombinowane, łączące zasady występujące w metodach deterministycznych i statystycznych. W niniejszej pracy zachowano podział metod analizy przestrzennej zgodny z podziałem przyjętym w ramach GAT (ESRI, 2000). Do tychczas, do analizy przestrzennej opadów atmosferycznych w krajach Europy stosowano różnorodne techniki (tab. 1).

**Tabela 1.** Metody interpolacji stosowane, do prezentacji przestrzennej zmienności opadów atmosferycznych. (za Tveito, Schöner, 2002 – zmienione)

Metoda	Kraj	Rozdzielczość przestrzenna danych	Rozdzielczość czasowa danych
IDWSA	Słowenia	1 x 1 km	godzinne, dobowe
Gaussian Weighted Distance Thiessen	Szwecja	5 x 5 km	<b>miesięczne</b>
Spline (tension)	Portugalia Holandia Grecja	400 x 400 m 10 x 10 km ok. 50 x 50 km	dobowe dobowe dobowe
Analiza manualna	Szwecja	różna	<b>miesięczne</b>
Regresja	Szwecja Włochy Niemcy	5 x 5 km 100–2000 x 1 x 1 km	<b>miesięczne</b> dobowe > <b>miesięczne</b>
Kriging	Słowenia Włochy Norwegia	1 x 1 km 100–2000 x 1 x 1 km	> godzinne dobowe > <b>miesięczne</b>
Kriging uniwersalny	Słowenia	1 x 1 km	> godzinne
Kriging beztrendowy	Austria Finlandia	25 – 250 m 10 x 10 km	> <b>miesięczne</b> <b>miesięczne</b>
Aurelhy	Francja Węgry	5 x 5 km 600 x 900 m	<b>miesięczne</b> <b>roczne</b>

## Porównanie wyników oraz wybór najlepszej metody interpolacji opadów

Metody geostatystyczne, w przeciwieństwie do metod deterministycznych bazują na założeniach statystyki. Przyjęcie takich założeń stwarza możliwość obliczenia statystycznych charakterystyk błędu interpolacji umożliwiającą ocenę dokładności wyników analizy przestrzennej. Charakterystyki te mogą być również wykorzystane podczas procesu analizy przestrzennej w celu sprawdzenia poprawności doboru parametrów interpolacji i modelu semiwariogramu. Spośród grupy pięciu tego rodzaju wskaźników dostępnych w przypadku metod geostatystycznych, dwa z nich obliczane są również podczas interpolacji technikami deterministycznymi. W rezultacie porównaniu podlegać mogą wyniki analizy przestrzennej przeprowadzone którąkolwiek z rozpatrywanych w pracy metod. Do statystycznych charakterystyk błędu interpolacji uwzględnionych w niniejszym opracowaniu należą (ESRI, 2000): średni błąd interpolacji (*Mean Prediction Error – ME*); pierwiastek kwadratowy średniego błędu interpolacji (*Root Mean Square Prediction Error – RMSE*); średni błąd standardowy krigingu (*Average Kriging Standard Error – ASE*); średni standaryzowany błąd krigingu (*Mean Standardized Prediction Error – MSE*); pierwiastek kwadratowy ze średniego błędu standaryzowanego krigingu (*Root Mean Square Standardized Prediction Error – RMSSE*).

Jeśli wartości parametrów interpolacji i model semiwariogramu zostały dobrane prawidłowo i w efekcie wyniki analizy przestrzennej są zadowalające wówczas średni błąd interpolacji (ME) powinien być bliski 0. Jednakże w związku z tym, że jego wartość w dużym stopniu uzależniona jest od rodzaju danych (wartości oraz zakresu zmian), wiarygodniejszą

miarą jest średni błąd standardowy krigingu (MSE), którego wartość również powinna być bliska 0. Pierwiastek kwadratowy średniego błędu interpolacji (RMSE), jest wskaźnikiem zalecanym do porównania wyników analizy przestrzennej za pomocą różnych metod interpolacji (ESRI, 2001). Jego wartość powinna być jak najmniejsza. Ponadto średni błąd standardowy krigingu (ASE) powinien posiadać wartość zbliżoną do pierwiastka kwadratowego średniego błędu interpolacji (RMSE). Jeśli ASE jest większy od RMSE wówczas świadczy to tym, że zmienność w zbiorze danych została przeszacowana, w sytuacji przeciwnej oznacza to niedoszacowanie zmienności. Ostatni z wymienionych wskaźników statystycznych, a mianowicie pierwiastek kwadratowy ze średniego błędu standaryzowanego krigingu (RMSSE) powinien osiągać wartość zbliżoną do 1. Podobnie jak w poprzednim przypadku jeśli błąd ten przekracza 1 wówczas zmienność w zbiorze danych została przeszacowana, jeśli jest mniejszy niż 1 wówczas mamy do czynienia z niedoszacowaniem zmienności (ESRI, 2000).

Porównanie wyników interpolacji oraz wybór najlepszej metody analizy przestrzennej opadów atmosferycznych w Europie przeprowadzono głównie na podstawie wartości pierwiastka kwadratowego średniego błędu interpolacji (RMSE). Miarę tę można traktować w sposób wiarygodny ponieważ porównaniu podlegała analiza przestrzenna tego samego elementu meteorologicznego (np. roczna suma opadów) wykonana za pomocą różnorodnych technik. Wskaźnik nie byłby odpowiedni do oceny wyników interpolacji różnych charakterystyk meteorologicznych (np. wskaźnika koncentracji opadów i opadów w sezonie zimowym). Dodatkowo, dla potwierdzenia prawidłowości wyboru najlepszej metody interpolacji opadów atmosferycznych, pomiędzy oszacowanymi oraz rzeczywistymi wartościami charakterystyk opadowych wyznaczono prosty i powszechnie znany współczynnik korelacji (K) będący miarą zależności pomiędzy, w tym wypadku dwoma zbiorami danych liczbowych.

**Roczne sumy opadów atmosferycznych.** Na podstawie RMSE stwierdzono, że najlepszą metodą do interpolacji rocznych sum opadów w skali Europy jest zwykły kriging (rys. 2), co potwierdzają również wartości pozostałych wskaźników statystycznych (tab. 2). Nieco tylko gorsze wyniki uzyskano stosując metodę RBF. Małe wartości błędu RMSE odnotowano również w przypadku krigingu uniwersalnego. Wyznaczone współczynniki korelacji pomiędzy pomierzonymi oraz oszacowanymi wartościami opadów rocznych w uwzględnionych punktach pomiarowych potwierdzają walidację przeprowadzoną na podstawie wartości RMSE (tab. 2).

**Tabela 2.** Wartości błędów interpolacji rocznych sum opadów atmosferycznych w Europie

	Metody deterministyczne				Metody geostatystyczne			
	IDW	GP	LP	RBF	OK	SK	UK	DK
ME	0,15	0,3164	4,442	-0,8078	0,1199	0,679	1,346	-5,841
<b>RMSE</b>	2847,7	322,9	290,9	<b>276,9</b>	<b>276,7</b>	294,6	278,3	279,2
ASE	-	-	-	-	276,7	316,2	278,2	249,6
MSE	-	-	-	-	-0,0006008	0,001242	0,003019	-0,02275
RMSSE	-	-	-	-	1,017	0,9314	1,011	1,121
K	0,648	0,504	0,628	<b>0,669</b>	<b>0,6727</b>	0,6183	0,6671	0,6645

Porównując rezultaty interpolacji opadów rocznych stwierdzono, że walidacja przeprowadzona tylko na podstawie wartości RMSE nie zawsze w jednoznaczny sposób wyznacza najlepszą metodę. Na przykład biorąc pod uwagę tylko metody deterministyczne, najniższą wartością RMSE uzyskano w wyniku zastosowania RBF. Jednakże mapa wykreślona za pomocą IDW wydaje się być dokładniejsza, o czym świadczą wyższe sumy opadów w Alpach oraz widoczne na terenie Wielkopolski minimum opadowe, które jest charakterystyczną cechą ich przestrzennego zróżnicowania w Polsce. Zauważono ponadto, że największe różnice na mapach przestrzennego rozkładu opadów wykonanych za pomocą różnych metod interpolacji dotyczą przebiegu izohiet o najniższych sumach opadów w Europie środkowej oraz na półwyspie Skandynawskim. Podobne rezultaty uzyskano w przypadku opadów sezonu zimowego, stąd szczegółowa analiza wyników interpolacji tej charakterystyki została pominięta.

**Opady sezonu letniego.** Najniższe wartości RMSE dla opadów letnich również uzyskano na drodze interpolacji metodą kriginu zwykłego (rys. 3). Jednakże wartości pozostałych błędów interpolacji nie świadczą o pierwszeństwie tej metody w odniesieniu do pozostałych metod kriginu. MSE, którego wartość powinna zmierzać do 0, jest najniższy w przypadku kriginu uniwersalnego; z kolei RMSSE jest najbliższy jedności dla kriginu prostego, zaś w przypadku kriginu zwykłego przybiera wartość najbardziej różną od zalecanej. Dobre wyniki interpolacji uzyskano również przez zastosowanie metody IDW, co jest kolejną cechą różniącą sumy opadów letnich od rocznych i zimowych (tab. 3).

**Tabela 3.** Wartości błędów interpolacji opadów w sezonie letnim w Europie

	Metody deterministyczne				Metody geostatystyczne			
	IDW	GP	LP	RBF	OK	SK	UK	DK
ME	1,743	0,6149	0,00575	0,7399	0,01378	0,5504	-0,004999	-0,1234
<b>RMSE</b>	<b>49,54</b>	71,91	55,71	49,78	<b>49,33</b>	50,45	49,67	50,47
ASE	–	–	–	–	65,8	51,52	67,84	62,24
MSE	–	–	–	–	-0,001181	0,006188	-0,001096	-0,001828
RMSSE	–	–	–	–	0,7993	1,037	0,8497	0,8494
K	<b>0,88312</b>	0,734	0,850	0,88309	<b>0,8841</b>	0,8784	0,8828	0,87833

**Wskaźnik koncentracji opadów.** Wskaźnik koncentracji charakteryzuje się, jak wcześniej wspomniano najniższym zakresem zmian oraz zmiennością przestrzenną. Cecha ta okazała się istotną z punktu widzenia interpolacji ponieważ najlepsze rezultaty w tym wypadku dała metoda kriginu prostego (tab. 4, rys. 4). Następną pod względem przydatności do interpolacji wskaźnika koncentracji jest metoda kriginu zwykłego, czyli ta która sprawdza się w odniesieniu do sum opadowych. Należy przy tym wyraźnie zaznaczyć, że różnice wartości błędu RMSE, na podstawie którego przeprowadza się ocenę jakości rezultatów, są stosunkowo niewielkie w przypadku większości rozpatrywanych metod (za wyjątkiem metody wielomianów zarówno lokalnej jak i globalnej) (tab. 4). W związku z niewielkim zróżnicowaniem wartości RMSE, na mapach rozkładu wskaźnika koncentracji przebieg izolinii jest niemal identyczny.

**Tabela 4.** Wartości błędów interpolacji wskaźnika koncentracji opadów w Europie

	Metody deterministyczne				Metody geostatystyczne			
	IDW	LP	GP	RBF	OK	UK	SK	DK
ME	-0,1682	-0,0407	0,1709	-0,1192	-0,007496	-0,04617	-0,04867	0,06701
<b>RMSE</b>	6,265	8,198	6,601	6,383	<b>6,2</b>	<b>6,038</b>	6,25	6,291
ASE	–	–	–	–	6,259	6,041	6,856	6,461
MSE	–	–	–	–	-0,0004153	-0,001024	0,005105	0,00825
RMSSE	–	–	–	–	1,014	1,026	0,9415	0,9584
K	0,933	0,882	0,926	0,931	<b>0,9341</b>	<b>0,9376</b>	0,933114	0,9320

## Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone w niniejszej pracy analizy potwierdzają pogląd o znacznej przydatności systemów informacji geograficznej do prezentacji wyników badań dotyczących przestrzennej zmienności elementów oraz wskaźników klimatycznych. W związku z dynamicznym rozwojem możliwości oferowanych przez GIS w niedalekiej przyszłości mają one szansę zostać jednym z najużyteczniejszych narzędzi, pozwalającym w obrębie jednej aplikacji nie tylko łączyć dane środowiskowe i klimatologiczne oraz je prezentować, ale również umożliwiającym przeprowadzanie analiz zmienności czasowej. Sporą zaletą GIS jest także możliwość prezentacji wyników w różnorodnych skalach przestrzennych, możliwość dopasowania szczegółowości obrazu (generalizacja) do przyjętej skali, jak również możliwość modyfikacji wszystkich parametrów interpolacji w celu podniesienia jakości powierzchni wynikowej. Na uwagę zasługują także narzędzia do oceny statystycznej struktury danych jeszcze przed przystąpieniem do interpolacji, jednakże posiadają one ograniczenia dotyczące liczby uwzględnionych punktów pomiarowych, które w przypadku klimatologii, gdzie często analizuje się ogromne zbiory danych, są szczególnie niekorzystne. Na przykład ocenę autokorelacyjną przeprowadzić można na zbiorach zawierających co najwyżej 300 punktów pomiarowych. Ponadto, problematycznym i szalenie pracochłonnym jest dobór odpowiednich parametrów interpolacji, a zalecane wskaźniki oceny doboru tych parametrów wydają się nie być jednoznaczną miarą, co dotyczy również oceny dopasowania modelu semiwariogramu.

Ostatecznie stwierdza się, że narzędzia do geostatystycznej analizy danych, wchodzące w skład pakietu ArcGIS pozwalają na prezentację najistotniejszych cech przestrzennej zmienności opadów atmosferycznych w skali Europy. Spośród 8 rozpatrywanych metod najlepsze wyniki interpolacji rocznych oraz sezonowych sum opadów atmosferycznych uzyskano po zastosowaniu geostatystycznej metody krigingu zwykłego. Oznacza to, że technika ta nadaje się do prezentacji elementów klimatologicznych odznaczających się dużą zmiennością przestrzenną. Dobre rezultaty interpolacji sum opadowych uzyskano również w przypadku deterministycznych metod RBF (opady roczne i zimowe) oraz IDW (opady letnie). Do podobnych wniosków odnośnie przydatności metod interpolacji opadów atmosferycznych doszli W. Sobolewski (2001) oraz A. Loukas i inni (2004) pomimo, iż skala przestrzenna rozpatrywanych przez nich obszarów była inna (dorzecze Wisły). Analiza przestrzenna wskaźnika koncentracji, który w porównaniu z sumami opadowymi charakteryzuje się znacznie mniejszym zakresem zmienności oraz odmiennym wzorem rozkładu na obszarze kontynentu, dała najlepsze rezultaty w wyniku zastosowania krigingu prostego. Nieznacznie tylko wyższe



wartości RMSE uzyskano dla krigingu zwykłego. Zaznaczyć jednak należy, że wartości statystyki RMSE, w przypadku co najmniej kilku metod nie różniły się w istotny sposób, szczególnie jeśli chodzi o wskaźnik koncentracji opadów. Dwie spośród zastosowanych metod deterministycznych, a mianowicie metody wielomianów globalna i lokalna nie nadają się do prezentacji przestrzennej zmienności opadów atmosferycznych oraz innych wskaźników o znacznej zmienności przestrzennej. Wykonane za pomocą tych metod mapy charakteryzują się wysokim stopniem uproszczenia (szczególnie metoda wielomianów globalna) – np. zupełnie zanika zależność wysokości opadów od rzeźby terenu. W tabeli 5 zamieszczono porównanie wyników interpolacji opadów wszystkimi przedstawionymi w artykule metodami analizy przestrzennej.

Na koniec warto zaznaczyć, że największe różnice przestrzennego rozkładu badanych charakterystyk opadów pozyskane na drodze zastosowania różnych metod interpolacji występowały w obszarach o najmniejszym zagęszczeniu stacji meteorologicznych i równocześnie o względnie niskich sumach opadów. Oznacza to, że uzyskany wzór przestrzennej zmienności badanej charakterystyki może być wynikiem zastosowania konkretnej metody analizy przestrzennej (parametrów interpolacji, modelu semiwariogramu), szczególnie w obszarach o małej liczbie punktów pomiarowych. W podobnych sytuacjach zalecana jest szczególnie ostrożność w interpretacji wyników.

Wydaje się, że dalsze badania nad interpolacją opadów atmosferycznych powinny być prowadzone w obrębie mniejszych powierzchniowo obszarów (co pozwoli na określenie zależności pomiędzy opadem i lokalnymi warunkami środowiskowymi), z uwzględnieniem metod cokrigingu pozwalających na zastosowanie zmiennych objaśniających. Prawdopodobnym jest, że najlepszym rozwiązaniem będzie wykorzystanie różnych technik interpolacji w zależności od charakteru rozpatrywanego obszaru, a następnie połączenie w całość analiz cząstkowych.

**Tabela 5.** Porównanie wyników interpolacji wskaźników opadowych metodami deterministycznymi i statystycznymi; każdej metodzie przypisano cyfry od 1 do 7 zgodnie z wartością błędu RMSE  
1 – oznacza, że w wyniku zastosowania danej metody uzyskano najniższą wartość błędu RMSE (najlepszy wynik interpolacji),  
7 – odpowiada najwyższej wartości błędu RMSE

	Roczna suma opadów	Opady sezonu zimowego	Opady sezonu letniego	Wskaźnik koncentracji
<b>IDW</b>	5	4	<b>2</b>	4
GP	8	8	8	8
LP	6	7	7	7
<b>RBF</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	4	6
<b>OK</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>SK</b>	7	6	5	<b>1</b>
UK	3	5	3	3
DK	4	3	6	5

## Literatura

- Álvaro Pimpão S., 2003: Neutral Networks Application to spatial interpolation of climate variables, STSM on the Framework of COST 719 ZAMG, Vienna 6-10 October 2003 (prezentacja pdf).
- Auer I., Boehm R., Mohnl H., Potzmann R., Schoner W., 2000: OKLIM – Digital Climatology of Austria 1961-1990, Proceedings of 3<sup>rd</sup> European Conference on Applied Climatology (ECAC 2000), Pisa, Italy, CD-ROM.
- Bichari Z., 2002: Benchmark study for different interpolation methods to estimate monthly mean temperature in Hungary, GIS Spatialisation Meeting, 20-21 September 2002, Oslo, manuscript.
- Bac-Bronowicz J., 2002: Possibilities of GIS regional interpretation of precipitation based on various observation measurement periods, [W:] Man and Climate in the 20<sup>th</sup> Century, International Conference, Wrocław, Abstract Book.

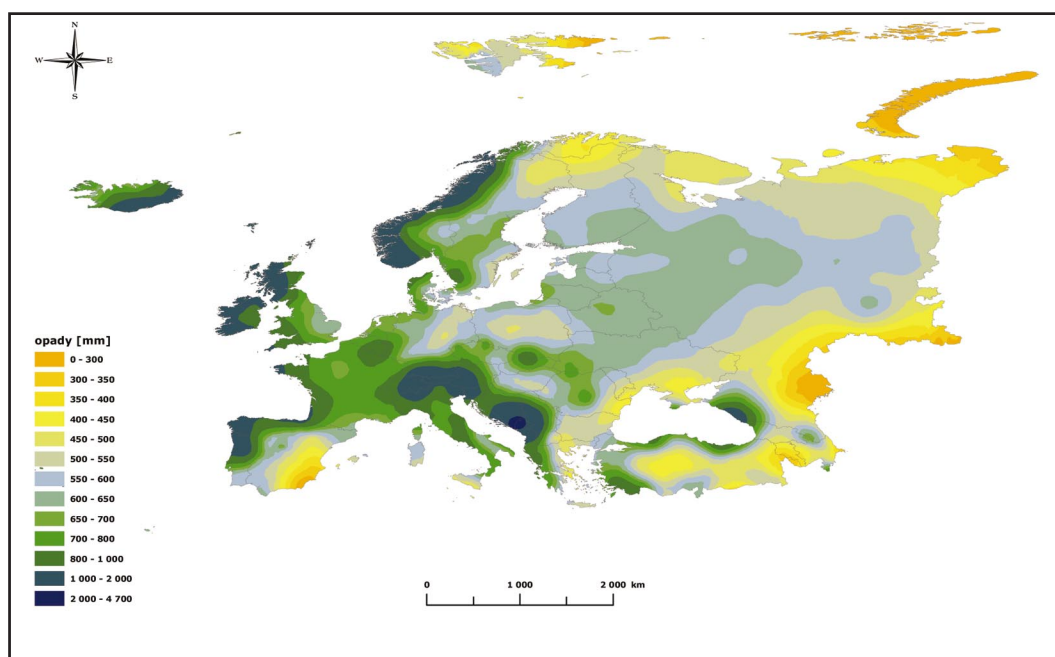
- Bac-Bronowicz J., 2003: Methods of the investigation of precipitation based on various observation measurement periods in GIS, [W:] Man and Climate in the 20<sup>th</sup> Century, Studia Geograficzne, 75, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego.
- Dahlström B., 2001: Geographical Information Systems for climatological and hydrological information and services; survey, key applications and capability building. WMO publ.
- Dobesch H., Tveito O. E., Bessemoulin P., 2001: Final Raport Project no. 5 in the framework of the climatological projects in the application area of ECSN Geographical Information System in Climatological Applications, Oslo, Vienna (manuscript).
- ESRI, 2001: Using ArcGIS Geostatistical Analyst. GIS by ESRI, USA.
- Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland, 2001: Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. Main, T.1.
- Loukas A., Vasiliades L., Dalezios N.L., 2004: Evaluation of precipitation spatial interpolation methods in Pinos River Basin, Greece, 1st General Assembly Nice, France, 25-30 April 2004.
- Magnuszewski A., 1999: GIS w geografii fizycznej, PWN, Warszawa.
- Quiel F., Sobik M., Rosiński D., 2003: Spatial analysis of fair temperature trends in Europe with the use of GIS, [w:] Man and Climate in the 20<sup>th</sup> Century, Studia Geograficzne, 75, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego.
- Sobik M., Netzel P., Quiel F., 2001: Zastosowanie modelu rastrowego do określenia pola rocznej sumy opadów atmosferycznych na Dolnym Śląsku, Uniwersytet Gdański, *Rocz. Fizycznogeograficzny*, t. VI.
- Sobolewski W., 2001: Numeryczna mapa opadów atmosferycznych dla dorzecza Wisły, Uniwersytet Gdański, *Rocz. Fizycznogeograficzny*, t. VI.
- Stach A., Tamulewicz J., 2003: Wstępna ocena przydatności wybranych algorytmów przestrzennej estymacji miesięcznych i rocznych sum opadów na obszarze Polski, [W:] Kostrowski A., Szpakowski J (red.) Funkcjonowanie geosystemów zlewni rzecznych, 3, Instytut Badań Czwartorzędu i Geoekologii UAM, Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań.
- Tveito O.E., Forland E.J., Henio R., Hansen-Bauer I., Alexandersson H., Dahlstroem B., Drebs A., Kern-Hansen G., Jonsson T., Vaarby-Laursen E., Westmann Y., 2000: Nordic Temperature Maps, *DNMI KLIMA*, No. 9.
- Tveito O.E., Schöner W. (eds.), 2002: Applications of spatial interpolation of climatological and meteorological elements by the use of geographical information system (GIS), *DNMI KLIMA*, No. 28, Oslo.
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2003: Zróżnicowanie przestrzenne warunków termicznych powietrza Polski z wykorzystaniem GIS, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2005: Application of GIS for the development of climatological air temperature maps: an example from Poland, *Meteorol. Appl.* 12.
- Walsh R.P.D., Lawler D. M., 1981: Rainfall seasonality: description, spatial patterns and change trough time, *Weather*, vol. 36, nr 7.
- Wilgat T., 1949: Okresowość opadów na kuli ziemskiej, *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska*, s. B, vol. III, 9.

### Summary

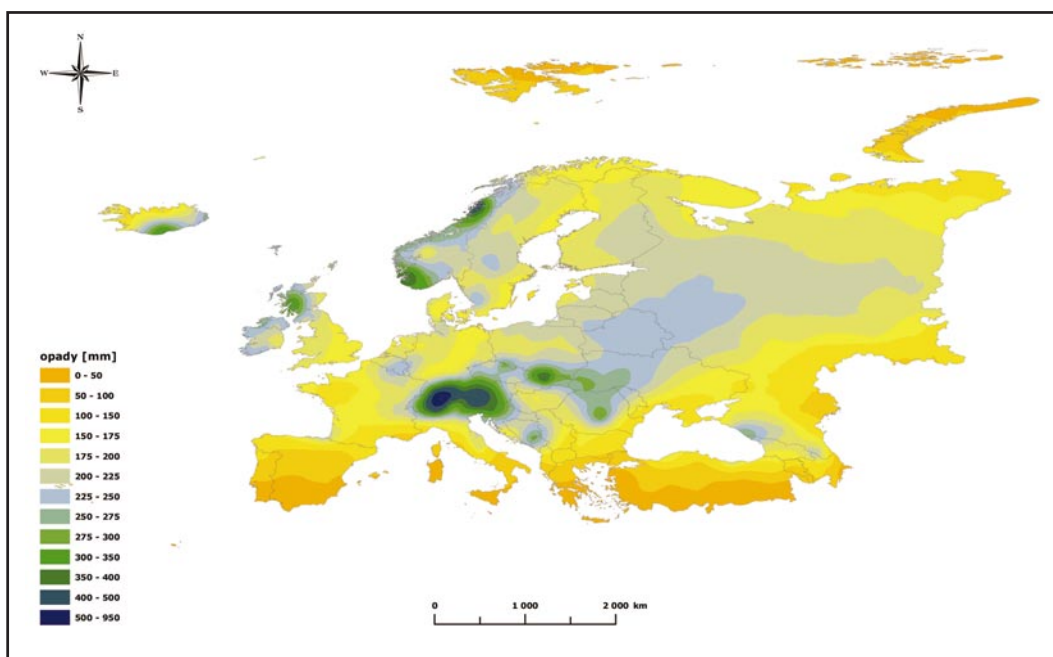
*The goal of this study is a selection of the best spatialisation method of precipitation fields for a large territory of Europe. The main dataset contains mean monthly sums of precipitation for normal period 1961–1990 from 816 meteorological stations located in Europe and neighbouring areas. Four precipitation indices differing in the range of variability and the pattern of spatial distribution were examination. The precipitation indices were interpolated by deterministic methods as well as geostatistic ones provided by Geostatistical Analyst Tools for ArcMap.*

*It was stated on the base of the statistical characteristics of prediction error, that ordinary kriging seems to be the most suitable method for interpolation of annual, summer and winter sums of precipitation on the large scale of Europe. The precipitation concentration index shows considerably smaller range of the spatial variability than precipitation sums. This difference is significant feature from interpolation methods' point of view. As it turned out the spatial analysis of the concentration index using simple kriging gives the smallest value of root mean square error (RMS).*

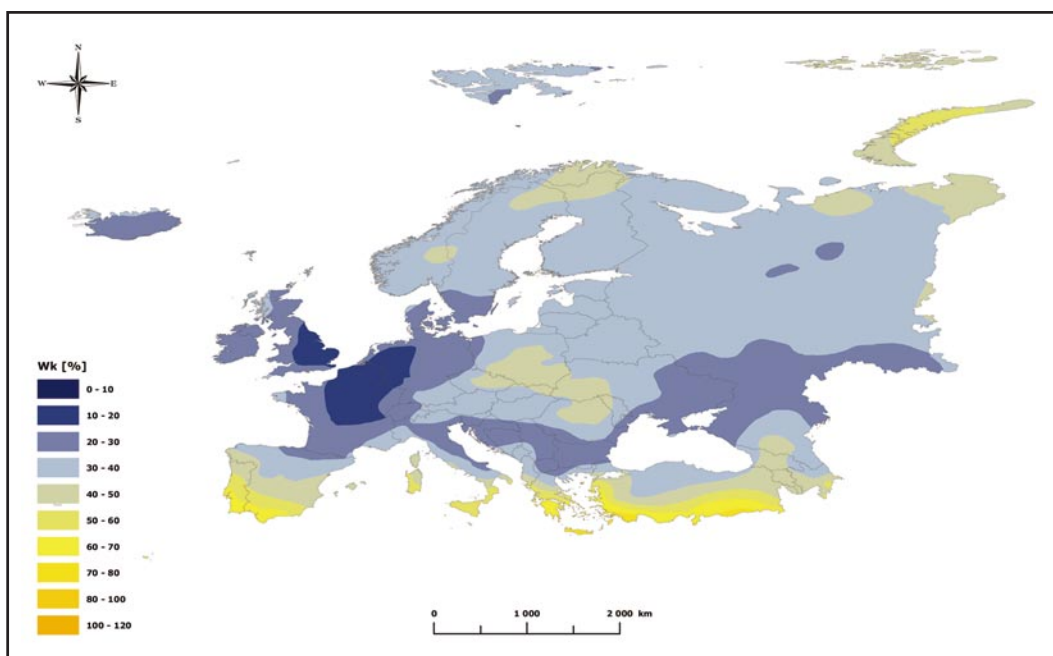
dr Ewa Łupikasza  
elupikas@wnoz.us.edu.pl  
tel. (032) 291 83 81



Rys. 2. Przestrzenna zmienność rocznych sum opadów atmosferycznych w Europie w okresie 1961–1990; interpolacja metodą kringingu zwykłego



Rys. 3. Przestrzenna zmienność opadów atmosferycznych w sezonie letnim w Europie w okresie 1961–1990; interpolacja metodą krigingu zwykłego



Rys. 4. Przestrzenna zmienność wskaźnika koncentracji opadów w Europie w okresie 1961–1990; interpolacja metodą krigingu prostego