



Zbigniew Ustrnul^{1,2}, Danuta Czekierda²

KONSTRUKCJA MAP TEMPERATURY POWIETRZA POLSKI Z WYKORZYSTANIEM GIS

CONSTRUCTION OF THE AIR TEMPERATURE MAPS FOR POLAND USING GIS

- ¹⁾ *Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Sosnowiec
University of Silesia, Faculty of Earth Sciences, Sosnowiec*
- ²⁾ *Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Kraków
Institute of Meteorology and Water Management, Cracow*

STRESZCZENIE: Podstawowym celem pracy jest prezentacja metody konstrukcji map charakterystyk temperatury powietrza obszaru Polski przy wykorzystaniu metod GIS. Konstrukcja map klimatycznych technikami GIS-u wymaga dwóch rodzajów danych. Pierwszym z nich są odpowiednie dane klimatyczne, którymi były średnie miesięczne i sezonowe wartości temperatury powietrza z 223 stacji z obszaru Polski i terenów sąsiednich z okresu 1961–2000. Drugi rodzaj danych stanowiły dane środowiskowe zawierające przede wszystkim informację o rzeźbie terenu, która odgrywa najistotniejszą rolę w kształtowaniu warunków termicznych powietrza. Pozostałe warstwy stanowiły dane dotyczące sieci hydrograficznej oraz administracyjnej. Przy konstrukcji map najtrudniejszy okazał się wybór najlepszej metody. Doświadczenia z innych krajów zdecydowały, że na wstępie do szczegółowych rozważań wzięto metodę regresji, kokrigingu oraz tzw. krigingu resztowego. Ostatecznie, po wykonaniu wielu prób, ze względu na najmniejsze błędy, do konstrukcji map postanowiono zastosować metodę krigingu resztowego. W pracy jako zmienne objaśniające wartości poszczególnych temperatur przyjęto i wykorzystano: wysokość nad poziomem morza, długość i szerokość geograficzną oraz odległość od morza dla stacji położonych do 100 km od wybrzeża Bałtyku. Wymieniona metoda posłużyła do konstrukcji podstawowych map temperatury powietrza oraz różnych charakterystyk pochodnych. Zamieszczono przykłady kilku map, które świadczą, że mapy cyfrowe pozwalają na uzyskiwanie różnego rodzaju informacji często o dużym znaczeniu praktycznym.

SŁOWA KLUCZOWE: temperatura powietrza, GIS, kriging, kriging resztowy

1. CEL PRACY

We współczesnej polskiej kartografii klimatologicznej wciąż daje się zauważyć przewagę tradycyjnych, na ogół manualnych, metod konstrukcji różnego rodzaju map. Na ogół mapy takie są poprawnie wykreślone i zredagowane, jednak proces ich tworzenia jest bardzo żmudny i uciążliwy. Niekiedy też niektóre treści oparte są na subiektyw-

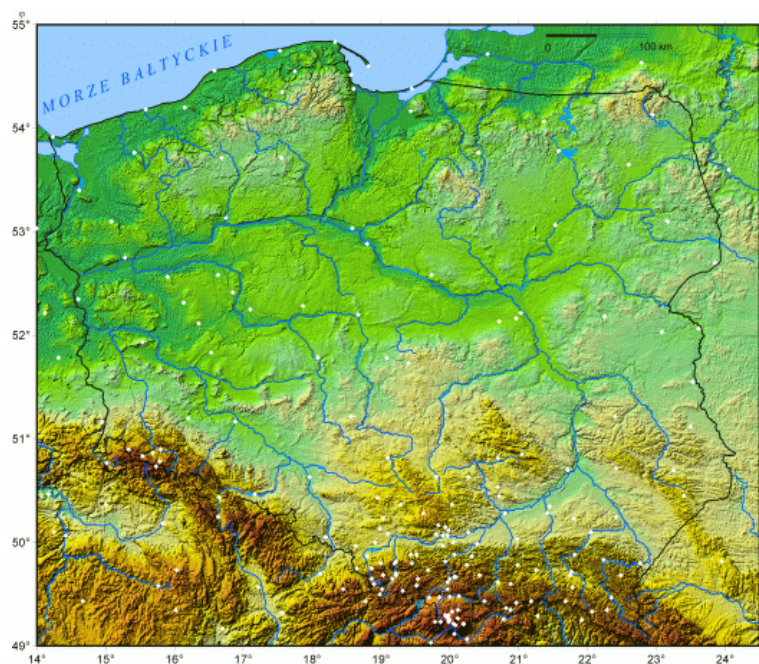
nej ocenie i wiedzy ich autorów. Stosunkowo rzadko przy tworzeniu map klimatycznych wykorzystuje się współczesne metody i techniki badawcze w tym przede wszystkim Geograficzne Systemy Informacji (GIS). Oczywiście można znaleźć przykłady ich zastosowania, ale z reguły dotyczą one małych regionów lub też wąskich zagadnień (np. Komputerowy Atlas Województwa Krakowskiego 1997, Sobik, Netzel, Quiel, 2001; Sobolewski, 2001; Bac-Bronowicz, 2002). Nieco lepsza sytuacja w tym zakresie jest za granicą, gdzie w poszczególnych krajach można znaleźć ciekawe przykłady ich zastosowania (np. Auer i in., 2000; Tveito i in., 2000; Dobesch, Tveito, Bessemoulin, 2001; Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland, 2001; Bihari, 2002). Dlatego też zasadniczym celem pracy jest prezentacja współczesnej metody konstrukcji map klimatycznych obszaru Polski, która oparta jest na technice GIS. Jednocześnie w pracy zamieszczono kilka przykładowych produktów zastosowania tej metody w celu pokazania niektórych możliwości jakie niesie za sobą zastosowanie GIS-u. Konstrukcja map klimatycznych ograniczona tutaj została do map temperatury powietrza, który to element uważany jest za przewodni dla warunków klimatycznych, jak też jest najlepiej poznany i uzależniony od warunków środowiska geograficznego.

2. MATERIAŁY

Konstrukcja map klimatycznych technikami GIS-u wymaga dwóch rodzajów danych. Pierwszym z nich są odpowiednie dane klimatyczne, drugim różnego rodzaju dane o środowisku, które bezpośrednio wpływają na określony rozkład przestrzenny analizowanego elementu klimatu. Zgodnie z tym w pracy uwzględniono 2 rodzaje danych. Pierwszy stanowił zbiór średnich miesięcznych temperatur powietrza z 168 stacji synoptycznych i posterunków klimatologicznych z obszaru całej Polski z okresu 1961–1990. Dodatkowo uwzględniono średnie miesięczne temperatury z 55 stacji leżących na obszarze Niemiec, Czech, Słowacji, Ukrainy, Białorusi, Litwy i Rosji (rys. 1). Jednocześnie dla przeprowadzenia analiz porównawczych uwzględniono też dane z ostatniego „pełnego” 30-lecia tj. 1971–2000, które w niektórych analizach bywa właśnie uważane za współczesne „normy klimatyczne”. W tym jednak przypadku posłużono się średnimi z 53 stacji synoptycznych położonych na terenie Polski. Dla celów bieżącego monitoringu klimatu wykorzystano też dane z 2003 roku. Oczywiście wszystkie dane meteorologiczne zostały poddane rutynowej oraz szczegółowej kontroli odnośnie ich jednorodności. Wykorzystano w tym celu najczęściej ostatnio stosowany test homogeniczności Alexanderssona (SHNT; Alexandersson, 1986), który wskazał na podejrzenie niejednorodności w kilkunastu przypadkach. Po ich szczegółowszym rozpatrzeniu i nie znalezieniu racjonalnego wytłumaczenia stwierdzonych odchyłań, z wartości dla 7 stacji postanowiono ostatecznie zrezygnować i nie uwzględniać ich w dalszej analizie. Należy więc dodać, że wstępnie do analizy wzięto 175 punktów obserwacyjnych z obszaru Polski.

W całym opracowaniu drugi rodzaj danych jaki musiał być uwzględniony stanowiły dane środowiskowe. Były to przede wszystkim dane dotyczące rzeźby terenu zawierające informację o wysokości nad poziomem morza poszczególnych punktów gridowych (tzw. DEM – Digital Elevation Model). Dane dla obszaru Polski, wraz z około 5 km strefą przylegającą do terytorium kraju, pochodziły z firmy „Neokart” i obejmują wartości punktów co około 250 m. Model rzeźby obszarów położonych poza terytorium

Polski został zaczerpnięty z powszechnie znanej bazy danych GTOPO (Global...), która oferuje dane z rozdzielczością 30 sekund kątowych, co w dużym przybliżeniu odpowiada odległości punktów gridowych co około 1 km.

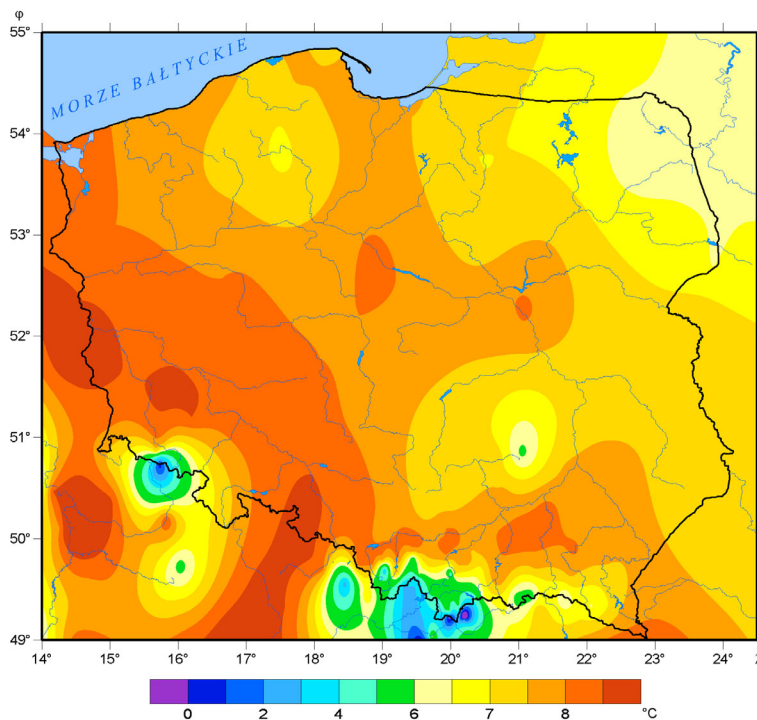


Rys. 1. Położenie stacji meteorologicznych uwzględnionych w opracowaniu na tle rzeźby terenu
Fig. 1. Location of the meteorological stations used in the study with the shaded relief

3. METODA

Przy konstrukcji map z wykorzystaniem GIS najważniejszy i też najtrudniejszy okazał się wybór najlepszej metody. Wyboru tego dokonano z szeregu metod, które są stosowane przy analizie przestrzennej w naukach o Ziemi. Ogólnie można je podzielić na metody deterministyczne (np. metody oparte na funkcjach wielomianowych, na radialnych funkcjach bazowych), stochastyczne (tzw. geostatystyczne, np. kriging, kokriging), mieszane (np. kriging uniwersalny, kriging resztowy) oraz inne, które trudno jednoznacznie zaklasyfikować. Metody stochastyczne wykorzystują koncepcję losowości, tzn. konstruowana powierzchnia oparta jest na określonym, jednym z wielu możliwych algorytmów, jakie można opracować na podstawie tych samych danych. Metody te pozwalają na określenie istotności statystycznej skonstruowanej powierzchni i zarazem niepewności wartości szacowanych. Z kolei metody deterministyczne nie wykorzystują teorii prawdopodobieństwa, dają natomiast możliwość wyjaśnienia zróżnicowania przestrzennego danej zmiennej przyczynami fizycznymi. Na ogół większość użytkowników preferuje metody deterministyczne ponieważ zawierają one

pewną koncepcję i są mniej abstrakcyjne. Dokładniejszy opis wspomnianych metod można częściowo znaleźć np. w opracowaniach Cressie'go (1991), Magnuszewskiego (1999) oraz Ustrnula i Czekierdy (2003).



Rys. 2. Średnia roczna temperatura powietrza wyznaczona metodą krigingu
Fig. 2. Mean annual temperature interpolated by the kriging method

Cel pracy, zebrane materiały oraz poznanie wielu metod interpolacji przestrzennej zdecydowały o wyborze metody konstrukcji map. Wybór ten dokonany został po różnych żmudnych próbach i nie był prosty. Pod uwagę wzięto również doświadczenia z innych krajów, gdzie jednak nie wypracowano jednego, uniwersalnego algorytmu konstrukcji map. Co ciekawe, w wielu krajach zastosowano różne podejścia metodyczne. Oczywiście wpływ miał tutaj charakter elementu klimatycznego wziętego do analizy jak i skala przestrzenna w jakiej rozpatrywano zagadnienie. Tak np. w niewielkiej Słowenii do konstrukcji map rozkładu opadów atmosferycznych zastosowano zwykły kriging a do wykreślenia map średnich temperatur powietrza na obszarze Niemiec służyła metoda regresji, stosowana jednak oddzielnie dla poszczególnych regionów. Ze względu na warunki fizjograficzne Polski, zbliżone do niemieckich, w pierwszej fazie również posłużono się metodą regresji oraz kokrigingu obliczając związki między średnimi miesięcznymi i sezonowymi temperaturami a wysokością nad poziomem morza. Wpływ długości i szerokości geograficznej był uwzględniony poprzez podzielenie całego obszaru kraju na 7 regionów fizjograficznych, które wybrano przy zastoso-

waniu analizy skupień. Współczynniki korelacji średniej rocznej temperatury od wysokości nad poziomem morza dla poszczególnych regionów były wysokie i przekraczały poziom 0.92. Jednak przy konstrukcji map pojawił się problem nieuwzględniania obszarów o szczególnych warunkach mezoklimatycznych, różniących się od przeciętnego zróżnicowania, jakie wynika tylko z uwzględniania samego położenia nad poziomem morza. Problem ten najbardziej widoczny wydawał się w przypadku miejskich wysp ciepła oraz przede wszystkim dużych wklęsłych form terenu, które na mapach odwzorowywały się jako wyraźnie cieplejsze niż w rzeczywistości. Również najczęściej stosowana w wielu opracowaniach metoda krigingu nie mogła być wykorzystana ze względu na bardzo silną zależność temperatury powietrza od rzeźby terenu oraz na nierównomierną lokalizację stacji wziętych do analizy. Zresztą próba konstrukcji takiej mapy została wykonana dla średniej temperatury powietrza co można zobaczyć na rysunku 2. Jak widać, obraz ten jest daleki od znanego rzeczywistego rozkładu temperatury, a przebieg izoterm jest przede wszystkim uwarunkowany istnieniem poszczególnych stacji. Dobitnie zresztą można to zauważyć w obszarach górskich.

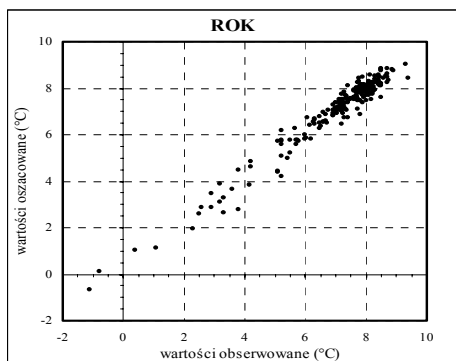
Dlatego też po kolejnych próbach do konstrukcji map postanowiono zastosować metodę tzw. krigingu resztowego (residual kriging). Metoda ta zwana też beztrendowym krigingiem (detrended kriging) polega na zastosowaniu w analizie przestrzennej trendu, który jest wyznaczony na podstawie zmiennych wejściowych.

W pierwszym więc kroku stosuje się wielokrotną regresję liniową wpasowując równania do rozpatrywanej zmiennej przestrzennej $Z(s)$ i zbioru zmiennych objaśniających $x_i(s)$. W drugim kroku przyjmuje się, że reszty (residua) obliczonego modelu regresyjnego $\delta(s)$ są wartością losową i wartości $\delta^*(s)$ następnie oblicza się dla każdej pojedynczej stacji (punktu) i interpoluje już przy użyciu zwykłego krigingu. Końcowe przewidywane wartości $Z(s)$ są uzyskane przez zsumowanie $Z^*(s)$ i $\delta^*(s)$ dla każdego gridu utworzonego zwykłym krigingiem.

W niniejszej pracy, po kilku próbach jako zmienne objaśniające wartości poszczególnych temperatur przyjęto i wykorzystano: wysokość nad poziomem morza, długość i szerokość geograficzną oraz odległość od morza dla stacji położonych do 100 km od wybrzeża Bałtyku. Oczywiście wpływ tych zmiennych na rozkład temperatury jest zróżnicowany a największy, jak należało przypuszczać, ma wysokość nad poziomem morza. Przy metodzie analizy przestrzennej krigingiem resztowym i analizie średnich temperatur powietrza wydaje się nawet, że uwzględnienie pozostałych zmiennych nie jest istotne. Analizując bowiem wyniki obliczonych współczynników regresji wielokrotnej można w pełni potwierdzić wyniki rozważań Romera oraz innych znanych klimatologów, że wpływ wysokości nad poziomem morza na „rzeczywistą” temperaturę powietrza jest dominujący i „może on być nawet 1000 do 5000 razy potężniejszy od wpływu szerokości geograficznej” (Romer, 1938).

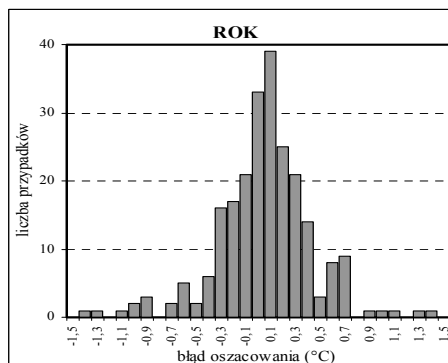
W każdej pracy konieczna jest kontrola uzyskanych wyników. Również w tym przypadku dokonano wstępnej oceny wyników map cyfrowych. W tym celu skonstruowano diagramy obserwowanych i szacowanych średnich rocznych oraz średnich miesięcznych temperatur powietrza. Rysunek 3 przedstawia wymieniony diagram dla średniej rocznej temperatury powietrza. Wynika z niego, że błędy szacowania są niewielkie i na ogół nie przekraczają 1°C. Na rysunku 4 przedstawiono z kolei rozkład częstości błędów oszacowania średnich temperatur w analogicznym okresie, który

potwierdza niewielki udział odchyłeń ponad $\pm 1^\circ\text{C}$. W całym zbiorze danych dla wszystkich miesięcy odchylenia te stanowiły poniżej 3% wszystkich przypadków.



Rys. 3. Wartości średnich temperatur obserwowanych oraz szacowanych metodą krigingu resztowego

Fig. 3. Observed mean temperature compared to mean temperature estimated using residual kriging method



Rys. 4. Rozkład częstości błędów oszacowania średniej temperatury metodą krigingu resztowego

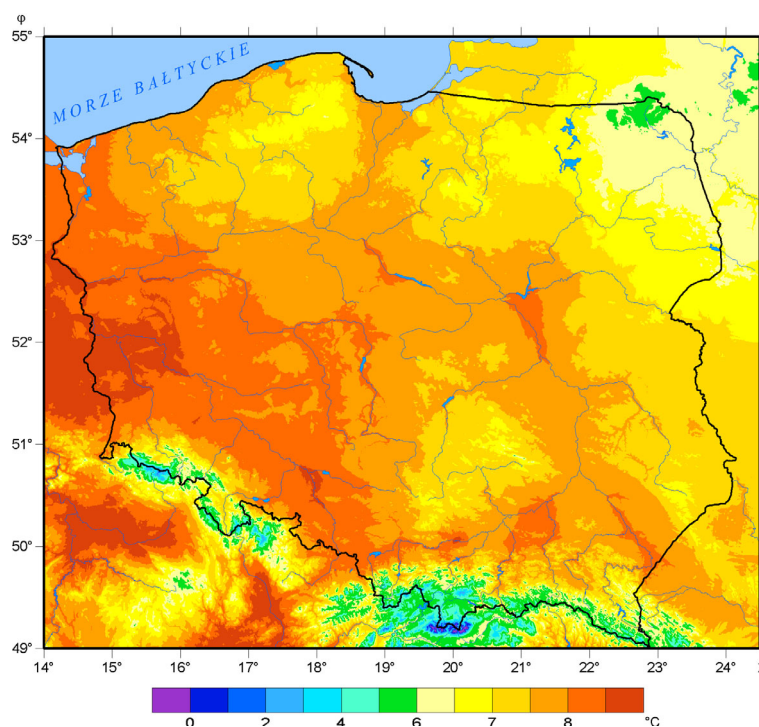
Fig. 4. Frequency distribution of the mean temperature estimation errors from the residual kriging method

Kontrolę uzyskanych wyinterpolowanych danych dokonano też niezależną i prostą metodą. Wzięto dane z 7 stacji nie uwzględnianych we wcześniejszych obliczeniach (próba niezależna) i z mapy odczytano wyznaczone wartości temperatury średniej rocznej i średnich miesięcznych stycznia i lipca. Uzyskane różnice okazały się zadowalające. W przypadku średniej rocznej i średniej lipca różnice nie przekraczały 0.2° , w przypadku stycznia 0.4°C . Tylko na Kasprowym Wierchu różnice pomiędzy wartościami wyznaczonymi a obserwowanymi były wyższe o 0.2°C od podanych. W tym jednak przypadku, jak i ewentualnie innych w obszarach górskich, można oczekiwać takich różnic. Wynikają one z ograniczonej dokładności w odczytywaniu wartości oraz przede wszystkim z nieprecyzyjnego określenia poszczególnych punktów. Przyjmując nawet dobrą wyjściową rozdzielczość gridów (co 250 m), łatwo stwierdzić, że przy nachyleniu stoków rzędu 45° różnice wysokości również sięgają 250 metrów, co daje średnio różnicę temperatury około 1.5°C .

Zastosowanie techniki GIS i techniki komputerowej, wbrew obiegowej opinii, wymaga bardzo wielu technicznych prac przygotowawczych. Są one związane na przykład z problemem skali oraz właściwym doбором przedziałów i barw (stopnia szarości) tak by prezentować najistotniejsze informacje merytoryczne. Inne trudności dotyczą wielu aspektów redakcyjnych wraz z projekcją i skalą mapy tak, by można było właściwie nakładać różne warstwy tematyczne wraz z warstwami pomocniczymi. Całą tą pracę można porównać do redakcji mapy jeszcze przy manualnym sposobie opracowania. Oczywiście inny jest charakter samej pracy i bez porównania mniej uciążliwy na etapie samego tworzenia „cyfrowego kreślenia” poszczególnych danych.

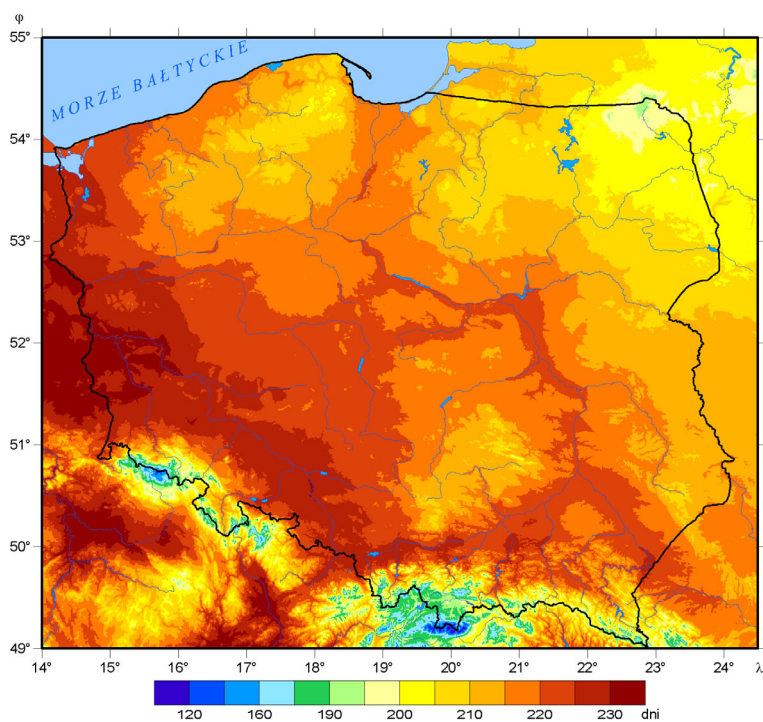
4. PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ

Pierwszą opracowaną grupę map stanowią mapy średnich sezonowych i rocznych temperatur powietrza. Na ogół uważa się je zresztą za najważniejsze mapy klimatyczne, na których opiera się wiele klasyfikacji klimatów kuli ziemskiej. Nawet sama średnia roczna temperatura powietrza jest też wygodną wielkością ogólnie informującą o zróżnicowaniu makro i mezoklimatycznym, nie wspominając już o jej ścisłych związkach z piętrami klimatycznymi w obszarach górskich i wyżynnych (Romer 1948/49, Hess 1966). Rysunek 5 przedstawia rozkład średniej rocznej temperatury na obszarze Polski i jej regionów przygranicznych w Europie Środkowej wyznaczonej na podstawie danych z okresu 1961–1990. Jak widać, waha się ona na całym analizowanym obszarze od około 5° do 9°C (z wyjątkiem obszarów górskich). W granicach Polski ten zakres obejmuje wartości od 5.5°C na Suwalszczyźnie do 8.5°C na Ziemi Lubuskiej oraz w okolicach Opola i Krakowa. Warto dodać, że mapę tą, jak i wiele innych można odpowiednio powiększać w zależności od potrzeb. Ze względu na przestrzenny charakter zróżnicowania średniej temperatury powietrza z wystarczająco dużą dokładnością mapy te można powiększać do wielkości odpowiadającej skali około 1:50 000.

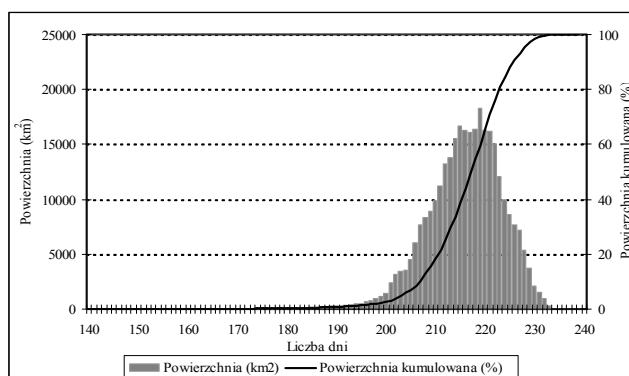


Rys. 5. Średnia roczna temperatura powietrza
Fig. 5. Mean annual air temperature

Ciekawym produktem z klimatycznego a także gospodarczego punktu widzenia jest długość trwania tzw. okresu wegetacyjnego (średnia dobowa temperatura powyżej 5°C), która przyjmuje na obszarze Polski wartości od ponad 230 dni (Ziemia Lubuska) do poniżej 200 dni w roku (Suwalszczyzna), rysunek 6.



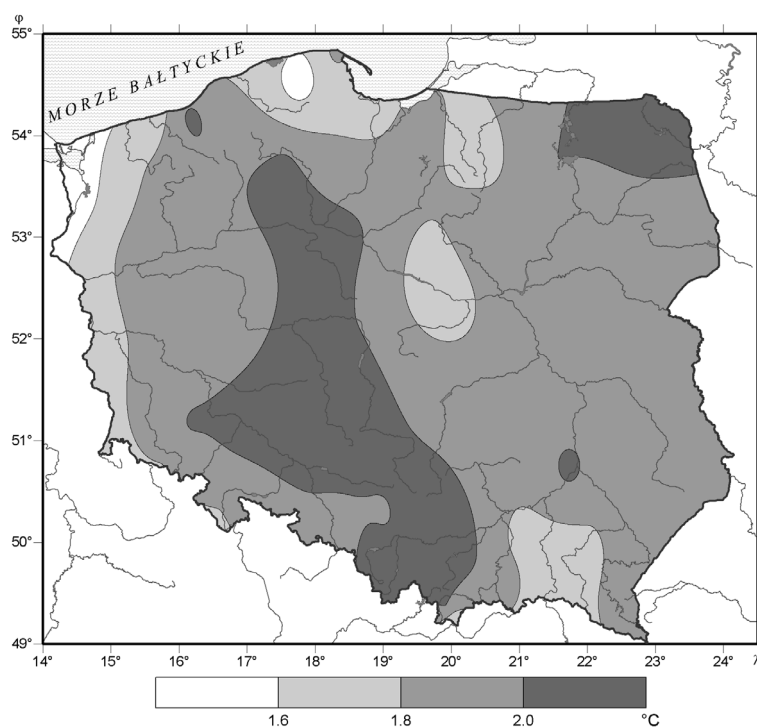
Rys. 6. Długość trwania okresu wegetacyjnego ($t > 5^{\circ}\text{C}$)
Fig. 6. Duration of the growing season ($t > 5^{\circ}\text{C}$)



Rys. 7. Rozkład powierzchni o różnym czasie trwania okresu wegetacyjnego
Fig. 7. Spatial distribution of the growing season

Warto zauważyć, że wartości te, choć podobnego rzędu, różnią się o ponad 30 dni, czyli aż o ponad 1 miesiąc. Korzystając z metod GIS-u stosunkowo łatwo skonstruować wykresy, które mogą mieć ważne znaczenie praktyczne. Tak np. rysunek 7 przedstawia powierzchniowy rozkład czasu trwania wspomnianego wyżej okresu wegetacyjnego. Można z niego np. odczytać jaką powierzchnię zajmują obszary o zadanej jego długości a tym samym planować określone działania rolnicze. Podobnie też można wykorzystać informację dotyczącą innych elementów oraz określonych regionów czy jednostek administracyjnych: województwa, powiatu czy nawet gminy.

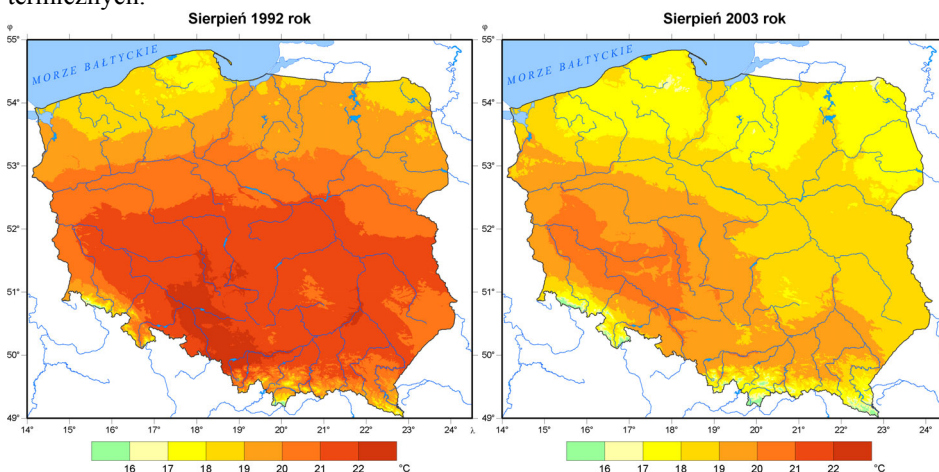
Techniki GIS-u pozwalają na stosunkowo szybką prezentację kartograficzną warunków termicznych dowolnie wybranych miesięcy czy sezonów. Dlatego doskonale nadają się do analizy ekstremalnych klimatycznie zjawisk i tym samym do bieżącego monitoringu klimatu. Tak na przykład mapa 8 prezentuje odchylenia średniej rocznej temperatury najcieplejszego w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat roku 2000 od normy wieloletniej. Na zdecydowanym obszarze kraju odchylenie to przekroczyło 1.8°C a w środkowo-zachodniej i północno-wschodniej części nawet 2°C , co w przypadku średniej rocznej należy uważać za bardzo dużą wartość. Z kolei rysunek 9 prezentuje rozkład średniej miesięcznej temperatury sierpnia 2003 oraz 1992 roku. Jak widać, wbrew obiegowej opinii o rekordowo ciepłym sierpniu 2003 roku, średnia sierpnia 1992 była wyższa na obszarze całego kraju, w tym zwłaszcza w jego części środkowej i środkowo-wschodniej.



Rys. 8. Odchylenie średniej rocznej temperatury powietrza roku 2000 od wielolecia 1961–1990

Fig. 8. Deviations of the mean annual temperature for 2000 from the 1961–1990 mean

Wyżej przytoczone przykłady map klimatycznych są tylko nielicznymi, które można skonstruować przy zastosowaniu GIS. Ich zaletą, obok wcześniej już przytoczonych cech, jest możliwość łatwego ich dalszego przetwarzania oraz wykorzystania do różnych innych celów, w tym również ściśle użytkowych. Dotyczy to np. różnego rodzaju map probabilistycznych, map rozkładu temperatury powietrza przy określonych typach cyrkulacji czy też map skonstruowanych dla określonych warunków (progów) termicznych.



Rys. 9. Średnia temperatura powietrza w sierpniu
Fig. 9. Mean August air temperature

5. WNIOSKI

Z wielu metod stosowanych w analizie przestrzennej do konstrukcji map temperatury powietrza wybrano i zastosowano metodę krigingu resztowego. Wstępna ocena wykazała, że metoda ta daje najbardziej wierny obraz zróżnicowania stosunków termicznych powietrza. Obliczone odchylenia pomiędzy wartościami szacowanymi a obserwowanymi były w przypadku zastosowanej metody najmniejsze. Przy jej wykorzystaniu skonstruowano podstawowe mapy temperatury powietrza dla obszaru Polski. Stanowią one zasadniczy materiał do wnikliwej analizy klimatologicznej zarówno w ujęciu makro jak i mezoskali. Uzyskane wyniki potwierdzają główne cechy zróżnicowania termicznego Polski i zwracają jednocześnie uwagę na znaczne ich przestrzenne zróżnicowanie nie tylko w obszarach górskich ale również na Nizinie Polskiej. Zamieszczone przykłady świadczą, że mapy cyfrowe pozwalają też na dokonywanie różnego rodzaju obliczeń i analiz, które mogą mieć istotne znaczenie praktyczne.

Techniki GIS niewątpliwie wnoszą nową jakość w konstrukcji map klimatycznych, w szczególności map termicznych. W kolejnym etapie należy jednak dokonać szczegółowej ilościowej oceny stosowanych metod analizy przestrzennej. Dotyczy to zwłaszcza możliwości wykorzystania tych metod w mniejszych skalach, włącznie z mapami

topograficznymi. Wydaje się jednak, że duże zróżnicowanie warunków termicznych powietrza, uwarunkowane innymi elementami środowiska (m. in. rodzajem form terenu, ekspozycją, pokryciem terenu), nastęrczy dodatkowe trudności, a na pewno zmusi do wykorzystania wymienionych zmiennych. Dlatego też konstrukcja map w tych małych skalach będzie musiała być ograniczona do wybranych terenów i prawdopodobnie niemożliwe będzie zastosowanie jednej uniwersalnej metody opartej na tych samych parametrach równań funkcyjnych.

PIŚMIENNICTWO

- Alexandersson H., A homogeneity test applied to precipitation data, *J. Clim.*, 6, 661–675, 1986.
- Auer I., Boehm R., Mohnl H., Potzmann R., Schoner W., OKLIM – Digital Climatology of Austria 1961–1990, Proceedings of 3rd European Conference on Applied Climatology (ECAC 2000), CD-ROM, Pisa, Italy, 2000.
- Bac-Bronowicz J., Possibilities of GIS regional interpretation of precipitation based on various observation measurement periods, [w:] *Man and climate in the 20th century*, International Conference, Abstract Book, 3–4, Wrocław, 2002.
- Bihari Z., Benchmark study for different interpolation methods to estimate monthly mean temperature in Hungary, GIS – Spatialisation Meeting, 20–21 September 2002, manuscript, Oslo 2002.
- Cressie N., *Statistics for spatial data*, Wiley, New York 1991.
- Dobesch H., Tveito O.E., Bessemoulin P., Final Report Project no. 5 in the framework of the climatological projects in the application area of ECSN “Geographic Information Systems in Climatological Application”, (manuscript), Oslo, Vienna 2001.
- Global 30 Arc-Second Elevation Data Set (GTOPO30), adres <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/>
- Hess M., Znaczenie średniej temperatury roku dla poznania warunków klimatycznych, *Przegl. Geogr.*, 38, 1, 17–40, Warszawa 1966.
- Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland, Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. Main, T. 1, 2001.
- Komputerowy Atlas Województwa Krakowskiego, red. Trafas K., Pyka K., Urząd Wojewódzki w Krakowie, 1997.
- Magnuszewski A., *GIS w geografii fizycznej*, PWN, Warszawa 1999.
- Romer E., Pogląd na klimat Polski, *Czasop. Geogr.*, 16, 193–224, 1938.
- Romer E., Rehabilitacja wartości średniej temperatury roku, *Przegląd Geogr.*, 22, 213–224, 1948/49.
- Sobik M., Netzel P., Quiel F., Zastosowanie modelu rastrowego do określenia pola rocznej sumy opadów atmosferycznych na Dolnym Śląsku, Uniwersytet Gdański, *Rocznik Fizycznogeograficzny*, T. VI, 27–34, 2001.
- Sobolewski W., Numeryczna mapa opadów atmosferycznych dla dorzecza Wisły, Uniwersytet Gdański, *Rocznik Fizycznogeograficzny*, T. VI, 79–84, 2001.
- Tveito O.E., Forland E.J., Heino R., Hanssen-Bauer I., Alexandersson H., Dahlstroem B., Drebs A., Kern-Hansen c., Jonsson T., Vaarby-Laursen E., Westmann Y, *Nordic Temperature Maps*, DNMI KLIMA, No. 9, 2000.
- Ustrnul Z., Czekerda D., Zróżnicowanie przestrzenne warunków termicznych powietrza Polski z wykorzystaniem GIS, *Seria: Atlasy i Monografie*, IMGW, Warszawa 2003.

CONSTRUCTION OF THE AIR TEMPERATURE MAPS FOR POLAND USING GIS

S u m m a r y

The main objective of the study is the method's presentation of the construction of air temperature maps for the territory of Poland through the application of contemporary GIS techniques. Construction of climate maps with the application of GIS tools requires 2 types of data. Firstly, there are relevant climatic data i.e. mean monthly and seasonal temperatures from 223 stations from the entire territory of Poland and neighboring areas from the period 1961–2000. Secondly, environmental data allowing spatial representation of the particular climatic component which basically are relief model as well as hydrographic and administrative layers. Decision for the application of the most appropriate spatialisation method was the most difficult in the study. A several spatial interpolation methods have been tested: ordinary kriging, cokriging and residual kriging. The last one – residual kriging – was chosen for the map constructions due to the best verification results. Several geographic parameters, including elevation, latitude, longitude, and distance to the Baltic coast (for stations located within 100 km) were used as predictor variables for air temperature estimation. Finally using the residual kriging method different air temperature maps have been constructed. GIS approach enabled for easy calculation and display of the area with specified thermal conditions and characteristics which can be extremely useful from the practical point of view.

KEY WORDS: air temperature, GIS, kriging, residual kriging

Recenzent: dr Bożena Kicińska, Uniwersytet Warszawski