

ANALIZA ZMIENNOŚCI CZASOWEJ ROZKŁADU TEMPERATURY POWIETRZA W POLSCE Z ZASTOSOWANIEM METOD GIS

AN ANALYSIS OF TEMPORAL DISTRIBUTION OF AIR
TEMPERATURE IN POLAND WITH THE USE OF GIS

Zbigniew Ustrnul^{1,2}, Danuta Czekierda²

¹Uniwersytet Śląski

²Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Kraków

Słowa kluczowe: temperatura powietrza, zmienność czasowa, GIS, Polska
Keywords: air temperature, temporal variability, GIS, Poland

Wprowadzenie

Temperatura powietrza będąca przewodnim i tzw. ciągłym elementem klimatu jest najlepiej rozpoznaną charakterystyką klimatu i dlatego stanowi dobrą podstawę do prac badawczych mających na celu wypracowanie nowych metod oceny jej zmienności tak przestrzennej jak i czasowej. O ile zarówno w literaturze polskiej jak i zagranicznej istnieje wiele przykładów map prezentujących przestrzenne zróżnicowanie rozpatrywanego elementu, w ostatnich latach w znakomitej większości z wykorzystaniem narzędzi Systemów Informacji Geograficznej (GIS), to wciąż brak opracowań poświęconych jej czasowej zmienności w przestrzeni (np. Auer i in., 2000; Tveito i in., 2000; Dobesch, Tveito, Bessemoulin, 2001; Klimaatlas..., 2001; Brown, Comrie, 2002; Chapman, Thornes, 2003; Jezioro, 2003; Quiel, Sobik, Rosiński, 2003; Ustrnul, Czekierda, 2003). W niniejszej pracy podjęto próbę takiej analizy wykorzystując średnią roczną i średnie miesięczne temperatury powietrza z obszaru Polski. Reasumując, celem artykułu jest przedstawienie cech zmienności temperatury powietrza w Polsce w okresie 1951-2003 oraz prezentacja metod czasowej analizy z wykorzystaniem narzędzi GIS.

Zagadnienie zmienności czasowej temperatury, jak i całego klimatu należy do najważniejszych we współczesnej klimatologii. Jednak, mimo istnienia wielu zarówno prostych metod jak i bardziej zaawansowanych technik (np. analiza fourierowska, analiza falkowa) brak dobrych i sprawdzonych metod, które ułatwiłyby detekcję zmian i zmienności klimatu. Dlatego też zastosowanie do tego celu narzędzi GIS może być bardzo przydatne zarówno z merytorycznego, jak i technicznego punktu widzenia. Użycie narzędzi GIS nie jest jednak w

* Praca została w znacznym stopniu wykonana w ramach projektów badawczych Ministerstwa Nauki i Informatyzacji: 618/E-217/SPUB-M/COST/P-04/DZ245/2001-2003 oraz 618/E-217/SPB/COST/KN/DWM50/2005-2006.

tym przypadku proste, gdyż dotychczas na świecie nie wypracowano właściwych metod, które zajmowałyby się tym zagadnieniem. Dotyczy to także działań w ramach Akcji Unii Europejskiej COST 719 „Geographic Information System in Climatology and Meteorology”. Niniejsze opracowanie zawiera przykłady zastosowania GIS do analizy zmian temperatury powietrza w Polsce, które udało się wypracować jego autorom.

Materiały i metoda

Zasadniczy rodzaj danych wykorzystanych w opracowaniu stanowił zbiór średnich miesięcznych temperatur powietrza z 213 stacji synoptycznych i posterunków klimatologicznych z terenu całej Polski oraz przygranicznych obszarów krajów sąsiednich. Dane te pozwoliły na wyznaczenie średnich wartości temperatury dla poszczególnych sezonów i lat. Wszystkie wartości obejmowały wielolecie 1951-2003, w którym obserwowano różne fluktuacje klimatu wraz ze wzrostem temperatury powietrza charakterystycznym w ostatnich kilkunastu latach. Pozostałą część danych, jak w większości ujęć GIS, stanowiły dane środowiskowe. W opracowaniu były to przede wszystkim dane dotyczące rzeźby terenu (DTM – *digital elevation model*) zawierające informację o wysokości nad poziomem morza poszczególnych punktów gridowych. Dane te dla obszaru Polski wraz z około 5 km strefą przylegającą do terytorium kraju pochodzą z firmy Neokart GIS i obejmują wartości punktów co około 250 m. Model rzeźby dla obszarów położonych poza terytorium Polski został zaczerpnięty z powszechnie znanej światowej bazy danych GTOPO30 (*Global 30 Arc Second Elevation Data Set*). Posiada ona jednak rozdzielczość rzędu 1 km i nie jest wystarczająca do wielu analiz klimatologicznych w mezoskali. Pozostałe dane miały charakter uzupełniający. Stanowiły je warstwy z podziałem administracyjnym oraz hydrografią (rzeki oraz zbiorniki wodne).

Przy konstrukcji map z wykorzystaniem technik GIS z reguły największym problemem jest dobór i zastosowanie najlepszej techniki analizy przestrzennej (Cressie, 1991; Wackernagel, 1998; Tveito, Schöner, 2002). Wykorzystanie najwłaściwszej, najbardziej precyzyjnej metody jest tutaj kluczowym zagadnieniem (Ustrnul, 2004). Dlatego na początku badań do analiz i testowania wzięto kilka metod analizy przestrzennej. Były nimi: kriging, kriging resztowy, kokriging oraz metoda regresji. Po wielu próbach zwłaszcza z metodą krigingu i kokrigingu zdecydowano się na metodę konstrukcji map opartą na tzw. krigingu resztowym (*residual kriging*). Metoda ta polega na wykorzystaniu liniowej analizy regresyjnej, a następnie zastosowaniu uzyskanych wartości resztowych (z modelu regresyjnego) w rozpatrywanych punktach. Ostateczna interpolacja wykorzystuje metodę zwykłego krigingu. W pracy jako zmienne objaśniające wartości poszczególnych temperatur przyjęto: wysokość nad poziomem morza, długość i szerokość geograficzną oraz odległość od morza dla stacji położonych do 100 km od wybrzeża Bałtyku. Okazało się, że największy wpływ na zróżnicowanie temperatury ma wysokość nad poziomem morza, która w decydujący sposób warunkuje rozkład temperatury. Przy metodzie analizy przestrzennej krigingu resztowego i analizie średnich temperatur powietrza wydaje się, że uwzględnienie pozostałych zmiennych nie jest nawet konieczne.

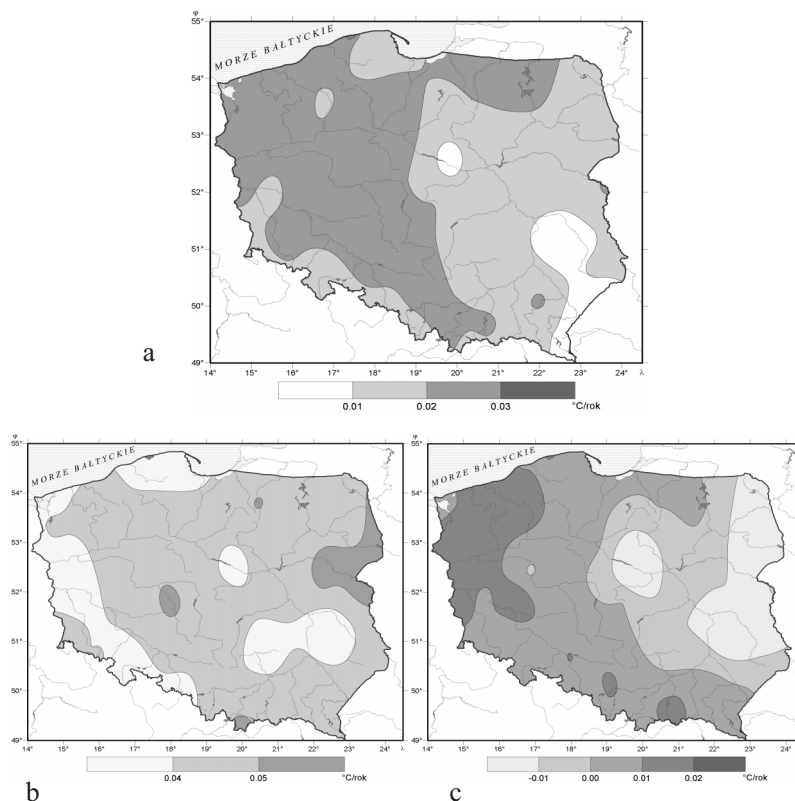
Metoda krigingu resztowego posłużyła tylko do konstrukcji map rozkładu temperatury powietrza dla poszczególnych miesięcy i lat. Pozwoliło to jednak na określenie wartości temperatury powietrza w zadanych punktach węzłowych siatki (*grid*). W efekcie uzyskano pliki danych z szeregami czasowymi średniej temperatury powietrza w gridach dla obszaru całej Polski. Umożliwiło to przeprowadzenie szczegółowej analizy czasowej, której wyniki

przedstawiono poniżej. W pierwszym jednak rzędzie zastosowano klasyczne charakterystyki opisujące zmienność: trend liniowy, odchylenie standardowe, wskaźnik zmienności. Wyżej wymienione miary przedstawiono przestrzennie w skali Polski.

Standardowe charakterystyki zmienności czasowej temperatury powietrza

W pierwszym etapie badań zastosowano tradycyjne charakterystyki statystyczne, które stosuje się do detekcji zmienności klimatu. W tym celu obliczono trendy liniowe oraz odchylenia standardowe dla różnych średnich temperatur sezonowych i rocznych. Charakterystyki te wyznaczono dla poszczególnych stacji (punktów), a następnie metodą zwykłego krigingu przedstawiono przestrzennie.

Trend liniowy temperatury. Jest to prosta charakterystyka często stosowana w współczesnej klimatologii. Zakłada się w niej istnienie prostoliniowej stałej tendencji w badanym ciągu danych, co jak wiadomo jest na ogół niezgodne z rzeczywistością. Jednak trend liniowy w syntetyczny obraz charakteryzuje zmianę w przebiegu wartości serii. Jak widać na przykładzie średniej rocznej temperatury, jej trend liniowy na obszarze całej Polski jest dodatni, co oznacza wzrost temperatury w ciągu badanych 50 lat 1951–2000 (rys. 1a).

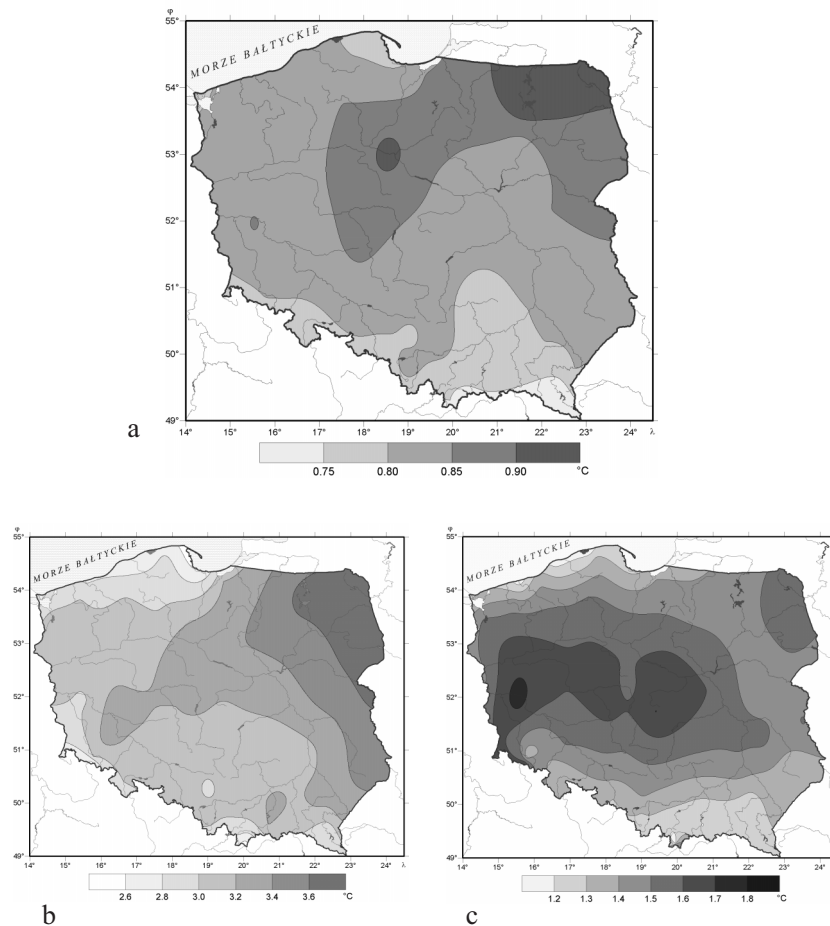


Rys. 1. Trendy liniowe: a – średniej rocznej temperatury powietrza, b – średniej stycznia, c – średniej lipca; lata 1951–2000

Największy jest on w środkowozachodniej części kraju, gdzie przekracza $0,02^{\circ}\text{C}/\text{rok}$, co oznacza przy utrzymaniu się takiego trendu przez 100 lat wzrost średniej rocznej temperatury o 2°C . Najmniejszy trend poniżej $0,01^{\circ}\text{C}/\text{rok}$ można obserwować w Polsce południowo-wschodniej.

Znacznie większe trendy liniowe można zauważyć w styczniu, kiedy na znacznym obszarze Polski przekraczają one $0,04\text{--}0,05^{\circ}\text{C}/\text{rok}$ (rys. 1b). Są to już bardzo wysokie wartości tego wskaźnika, które jednak zostały w dużym stopniu spowodowane przez ciepłe zimy ostatnich kilkunastu lat XX wieku. Natomiast znacznie niższe trendy, w dużej mierze oscylujące wokół 0°C , widoczne są w lipcu (rys. 1c). Oznacza to, że w miesiącu tym brak wyraźnej tendencji w przebiegu temperatury w badanym wieloleciu.

Odchylenie standardowe. Jest to prosty, aczkolwiek czuły wskaźnik różnych zmian i zmienności czasowej. Im jest ono większe, tym większe są wahania z roku na rok danego elementu. Biorąc pod uwagę zmienność średniej rocznej temperatury należy stwierdzić, że jest ona nieznaczna. Największe odchylenie standardowe sięgające $0,9^{\circ}\text{C}$ notowane jest w północno-wschodniej części kraju, najmniejsze natomiast nie przekraczające $0,8^{\circ}\text{C}$ – w górach (rys. 2a). Znacznie większa zmienność temperatury jest widoczna w poszczególnych



Rys. 2. Odchylenia standardowe: a – średniej rocznej temperatury powietrza, b – średniej stycznia, c – średniej lipca; lata 1951 – 2000

sezonach roku, w tym zwłaszcza zimą. W styczniu jego wartości dochodzą w północno-wschodniej Polsce do powyżej $3,5^{\circ}\text{C}$, w Polsce północnej, w tym nad Bałtykiem, nie przekraczają $2,8^{\circ}\text{C}$ (rys. 2b). Lipiec z kolei charakteryzuje się mniejszymi odchyleniami standardowymi, które nigdzie nie przekraczają $2,0^{\circ}\text{C}$. Najwyższe są one w środkowozachodniej części kraju, co oznacza, że obszar ten charakteryzuje się największą zmiennością temperatury lipca z roku na rok (rys. 2c).

Analiza zmienności czasowej temperatury w tzw. ujęciu gridowym

Jak już wcześniej zasygnalizowano, analizę zmienności czasowej temperatury przeprowadzono w sposób niestandardowy, z wykorzystaniem wyznaczonych punktów węzłowych siatki tzw. *grid*. Dane te uzyskuje się dzięki wykorzystaniu technik GIS, co w kolejnym etapie analiz umożliwia zastosowanie zupełnie nowych metod badawczych. Gęstość oczek siatki (*gridów*) zależna jest od potrzeb oraz zróżnicowania przestrzennego danego elementu klimatu. Ujęcie to, które już nazwane zostało „klimatologią gridową” wywodzi się z meteorologii i dotychczas nie doczekało się jeszcze znaczniejszych opracowań (Ustrnul, 2001). Choć dla niektórych ujęcie gridowe w klimatologii wydaje się być nieco kontrowersyjne, to powoli staje się ono realną naukową rzeczywistością, podobnie jak kilkanaście lat temu miało to miejsce w meteorologii. „Klimatologia gridowa” to nie nowa dziedzina klimatologii, jak to niektórzy błędnie interpretują, lecz podkreślenie, że dane wykorzystane w badaniach zapisane są w tzw. gridach, to jest w określonych punktach siatki regularnej. Termin ten stosuje się dla odróżnienia analiz, które opierają się wyłącznie na tradycyjnych danych ze stacji pomiarowych. Oczywiście w przypadku stosowania danych gridowych nieco inna powinna być metoda analizy. Niewątpliwie umiejętne i ostrożne jej stosowanie pozwala na stosunkowo łatwe wykonywanie odpowiednich działań oraz konstrukcję map i wykresów. Podejście gridowe w klimatologii staje się koniecznością wobec różnych współczesnych wyzwań, w tym stosowania techniki komputerowej z GIS włącznie oraz wykorzystywaniem obszernych baz danych. Zaawansowane próby w tym względzie czynione są przede wszystkim w krajach skandynawskich, choć literatura na ten temat jest jeszcze nieliczna (Tveito i in., 2005).

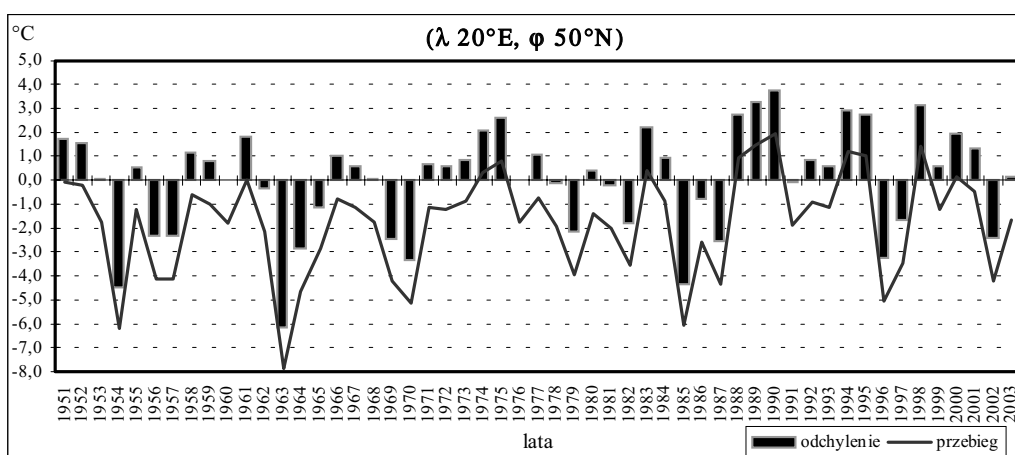
Poniżej przedstawiono wybrane przykłady wstępnych wyników badań oraz metod prezentacji zmienności czasowej temperatury. Zanim zostaną one przedstawione należy wyjaśnić, z praktycznego punktu widzenia, na czym polega klimatologia gridowa. Bez wątpienia jest to klimatologia oparta nie na standardowych, bezpośrednio mierzonych seriach danych, ale na seriach sztucznie wygenerowanych danych gridowych.

Generowanie danych gridowych wykonywane jest na podstawie rzeczywistych serii pomiarowych zgodnie z wybraną metodą analizy przestrzennej „spacjalizacji” lub interpolacji. Metoda spacjalizacji pozwala określić wartość danej zmiennej w dowolnym punkcie siatki gridowej. Kontrola danych jednoznacznie wskazuje na bardzo wysoką ich jakość, która oczywiście determinowana jest w znacznym stopniu przez dokładność wybranej metody spacjalizacji. Przy tzw. ciągłych elementach klimatu, jakim jest temperatura powietrza, dokładność danych jest wyjątkowo duża. Potwierdzają to przede wszystkim procedury oceny danej metody interpolacyjnej. Oszacować jakość można też wrywkowo przez bezpośrednią

analizę danych i porównanie danych gridowych z danymi oryginalnymi ze stacji. Przeprowadzona dla 7 stacji taka kontrola średnich rocznych temperatur wykazała, że rozpatrywane odchylenia są niewielkie i nie przekraczają $0,1^{\circ}\text{C}$. Biorąc pod uwagę dokładność pomiarów temperatury powietrza różnica ta jest praktycznie bez znaczenia. Nieuzasadnione są zatem wątpliwości niektórych sceptyków zarzucających, że dane gridowe są „danymi wirtualnymi” i nie zapewniają wymaganej dokładności opracowania wyników pomiaru.

W poniższych rozważaniach dotyczących zmienności czasowej oparto się na wartościach gridowych, to jest na średnich rocznych oraz miesięcznych temperaturach wyznaczonych dla punktów z rozdzielczością co 10 km dla obszaru całej Polski. Oczywiście możliwe było użycie jeszcze gęstszej siatki, ale wstępny charakter opracowania oraz jego cel, którym miała być detekcja głównych cech zmienności klimatu w skali całego kraju zdecydowała o zastosowaniu wymienionej rozdzielczości danych. Ponadto, mimo posiadania stosunkowo wydajnego komputera PC, zarówno jego ograniczenia sprzętowe jak i programowe nastroczają pewnych problemów przy tak dużych plikach danych. Analiza zmienności czasowej w najprostszym ujęciu może być dokonana dla wybranego punktu, którym może być zainteresowany zarówno klimatolog jak i inny zewnętrzny użytkownik potrzebujący określonej informacji naukowej do celów praktycznych. Przykładowo rysunek 3 pokazuje rozkład odchyleń średniej temperatury zimy od wielolecia oraz sam jej przebieg na tle tych odchyleń w punkcie węzłowym „Kraków” o współrzędnych 20°E , 50°N . Z wykresu tego bardzo łatwo można określić, jak odbiegały od średniej wieloletniej warunki termiczne danej zimy oraz jaki był rzeczywisty przebieg temperatury. Widać, że w rozpatrywanym wieloleciu najsurowsza pod względem termicznym była zima 1962/1963, kiedy odchylenie sięgnęło $-6,1^{\circ}\text{C}$ przy średniej temperaturze $-7,9^{\circ}\text{C}$, natomiast najcieplejsza miała miejsce w sezonie 1989/1990 kiedy odchylenie sięgnęło $3,7^{\circ}\text{C}$ przy średniej temperaturze zimy wynoszącej aż $2,0^{\circ}\text{C}$.

Dane gridowe pochodzące z siatki co 10 km uwzględniono do konstrukcji przestrzennych wykresów obrazujących zmienność czasową warunków termicznych Polski. Wykresy te, bazując na tak bogatych zbiorach danych można konstruować w dowolny sposób w zależności od celu analizy. Można je też wykorzystać dla wybranych tylko regionów fizjo-



Rys. 3. Odchylenia średniej temperatury zimy od wielolecia 1951–2000 oraz jej przebieg na tle odchyleń w punkcie gridowym „Kraków”

graficznych czy też administracyjnych (np. województwa). Kontynuując wcześniej podjętą problematykę zwrócono uwagę na średnią temperaturę roczną. Wyznaczono ją dla poszczególnych szerokości geograficznych na przykład na południku 20°E dla okresu 1951–2000. Tym samym analizowano zmienność temperatury w profilu od Tatr po Warmię w najbliższym sąsiedztwie Zalewu Wiślanego (rys. 4). Po pierwsze, wykres wskazuje na równoleżnikowe zróżnicowanie średnich temperatur od niskich poniżej 6°C na południu, w obszarach górskich, poprzez ciepłe regiony środkowej Polski z temperaturą roczną często przekraczającą 8°C aż po chłodniejszy znowu obszar Warmii. Po drugie, i najważniejsze w tej analizie, na rysunku bardzo dobrze widoczna jest zmienność temperatury z roku na rok. Najdobitniej zaznacza się tutaj ciepły okres XX wieku począwszy od 1989, kiedy w środkowej Polsce średnia roczna temperatura przekroczyła 9,5°C. Jeszcze wyraźniej (choć jest to już na brzegu wykresu) widać najcieplejszy w całym 50-leciu rok 2000, kiedy średnia powyżej 9°C objęła większą część południowej i środkowej Polski.

Zmienność czasową średniej rocznej oraz jej wyraźny wzrost w ostatnich kilkunastu latach potwierdzają też analogicznie skonstruowane rysunki dla poszczególnych równoleżników, w tym 52°N, przebiegającego przez środek Polski (rys. 5). Rysunek 5a przedstawia wartości bezwzględne temperatur, natomiast rysunek 5b – odchylenia od średniej całego rozpatrywanego wielolecia. Widoczny jest na nich wyraźnie cieplejszy obszar zachodniej Polski. Dotyczy to zwłaszcza ciepłych lat 1989, 1990 i 2000.

Jeszcze lepiej zmienność z roku na rok można dostrzec rozpatrując średnie temperatury zimy (grudzień-luty). Różnice pomiędzy poszczególnymi latami są znacznie większe niż w przypadku średniej rocznej. Zależności te ilustruje rysunek 6, na którym przedstawiono zmienność temperatury zimy w Polsce w okresie 53 lat 1951–2003 na poszczególnych długościach geograficznych uśrednionych dla równoleżnika 52°N przebiegającego przez środek Polski. Rysunek ten, podobnie jak i poprzedni, przedstawia zarówno wartości bezwzględne temperatur (rys. 6a), jak i odchylenia od średniej całego rozpatrywanego wielolecia (rys. 6b). Na obu wykresach, w tym zwłaszcza na wykresie odchyleń (rys. 6b), widoczne są duże różnice pomiędzy poszczególnymi latami, przy czym w całym okresie zaznaczają się zwłaszcza surowe zimy lat 50. i 70. oraz najsurowsza zima 1962/1963. Rysunek ten potwierdza też istnienie serii łagodnych zim przełomu lat 80. i 90. Zróżnicowanie przestrzenne jednoznacznie wykazuje istotne różnice pomiędzy zachodem i wschodem Polski. Izolinie mają charakterystyczną strukturę „słojów”, które obejmują całą Polskę. Prawa, dolna część wykresu na rysunku 6a, odpowiadająca wschodniej części Polski i pierwszej części rozpatrywanego 53-letnia, wskazuje na wyraźnie niższe temperatury.

Analogiczne wykresy jak dla zimy skonstruowano dla lata (czerwiec-sierpień – rys. 7). Choć zmienność wieloletnia jest na nim również dobrze zaznaczona, to jednak brak tam tak dużego zróżnicowania przestrzennego jak w sezonie zimowym. Różnice pomiędzy zachodnimi i wschodnimi obszarami są znikome, co tylko potwierdza ogólne prawidłowości rozkładu temperatury powietrza w tej właśnie porze roku. Wartości względne temperatury (rys. 7b) dobrze jednak ilustrują chłodne lata, jakie miały miejsce w dekadzie lat 70. oraz połowie 80., jak też upalne sezony roku 1992 i 1994. Jako wyjątkowo ciepłe lata z anomaliami ponad 2°C zaznaczają się też lata 2002 i 2003.

Wyżej przedstawione przykłady analizy czasowej wykonanej w skali przestrzennej są wybranymi i jednymi z wielu, jakie można wykonać przy charakterystyce zmienności klimatu wykorzystując techniki GIS-u. Wykresy te można konstruować zarówno dla różnych sezonów jak i dowolnych elementów klimatu, które możliwe są do w miarę dokładnego

przedstawienia przestrzennego. Cyfrowy ich wymiar pozwala na dalsze przetwarzanie zmierzające do bardziej szczegółowego przedstawienia rozpatrywanego zagadnienia, lub też wprost przeciwnie, do bardziej syntetycznego ujęcia.

Wnioski

Opracowanie przedstawia najważniejsze cechy zróżnicowania czasowego temperatury powietrza w Polsce w okresie 1951–2003. Analizie czasowej poddano średnią roczną i średnie sezonowe temperatury powietrza. Dokonano oceny ich zmienności w wieloletnim okresie 1951–2003, wykazując ocieplenie w ostatnich kilkunastu latach, które zaznaczyło się na terenie całej Polski, ze szczególnym uwzględnieniem środkowej i zachodniej jej części. Jednak zbyt krótki okres utrzymywania się wyższych temperatur nie pozwala na wysnucie daleko idących wniosków, co do charakteru klimatu, którego fluktuacje są immanentną cechą.

Zmienność czasową temperatury powietrza zbadano przestrzennie za pomocą trendów liniowych i odchyłeń standardowych.

Szczególne uwagę zwrócono na analizę w punktach węzłowych siatki tzw. *gridach*, która jawi się jako nowa metoda badania zmienności klimatu. Zastosowanie danych gridowych w klimatologii, nazywane „klimatologią gridową”, przynosi ogromne możliwości w przetwarzaniu danych i zarazem detekcji zmian temperatury, zarówno w czasie jak i przestrzeni. Zawarte w artykule przykłady są tylko częściowym potwierdzeniem tej tezy. Pełne przekonanie do nowej metody nastąpi dopiero po dokonaniu wielu prób i wnikliwej ich analizie. Wymaga to jednak odrębnych badań, których nie przedstawiono w artykule.

Zastosowanie narzędzi GIS w badaniach klimatologicznych pozwala na konstrukcję cyfrowych map i innych obrazów poszczególnych elementów klimatu. Wnosi to zupełnie nową jakość do badań klimatologicznych pozwalając na cyfrową analizę danych i ich prezentację. Jednocześnie stwarza praktycznie nieograniczone możliwości w dalszym przetwarzaniu informacji klimatologicznej, nie tylko w badaniach przestrzennych, ale również zmienności czasowej.

Wymienione zalety map i obrazów cyfrowych nie uwalniają ich konstruktorów od konieczności wnikliwej kontroli i weryfikacji uzyskanych wyników i tym samym nakazują ostrożność w stosowaniu poszczególnych metod. Dotyczy to również kontroli wejściowych danych meteorologicznych oraz środowiskowych.

Literatura

- Auer I., Böhm R., Mohnl H., Potzmann R., Schöner W., 2000: OKLIM – Digital Climatology of Austria 1961-1990, Proceedings of 3rd European Conference on Applied Climatology (ECAC 2000), Pisa, Italy, CD-ROM.
- Brown D. P., Comrie A. C., 2002: Spatial modeling of winter temperature and precipitation in Arizona and New Mexico, USA, *Climate Research*, Vol. 22, 115-128.
- Chapman L., Thornes J.E., 2003: The use of geographical information systems in climatology and meteorology, *Progress in Physical Geography*, Vol. 27, No. 3, 313-330.
- Cressie N., 1991: Statistics for spatial data, Wiley, New York.
- Dobesch H., Tveito O.E., Bessemoulin P., 2001: Final Report Project no. 5 in the framework of the climatological projects in the application area of ECSN “Geographic Information Systems in Climatological Application”, DNMI, KLIMA, Oslo.

- Global 30 Arc-Second Elevation Data Set (GTOPO30), [www: http://edcdaac.usgs.gov/dataproducts.asp](http://edcdaac.usgs.gov/dataproducts.asp)
- Jezioro P., 2003: Application of GIS to an investigation of spatial differentiation of air thermal conditions in the mountainous area, [w:] Man and climate in the 20th century, *Studia Geograficzne* 75, Wyd. Univ. Wrocławskiego, Wrocław, 551-558.
- Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland, 2001: Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. Main, T. 1.
- Quiel F., Sobik M., Rosiński D., 2003: Spatial analysis of air temperature trends in Europe with the use of GIS, [w:] Man and climate in the 20th century, *Studia Geograficzne* 75, Wyd. Univ. Wrocławskiego, Wrocław, 541-550.
- Tveito O.E., Bjoerdal I., Skjelvag A. O., Aune B., 2005: A GIS-based agro-ecological decision system based on gridded climatology, *Meteorol. Appl.*, 12, 57-68.
- 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., 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 systems (GIS), *KLIMA*, No. 28, Oslo.
- Ustrnul Z., 2001: Dane gridowe a cyrkulacja atmosferyczna, *Rocznik Fizycznogeograficzny*, Uniwersytet Gdański, T. VI, Gdańsk, 7-12.
- Ustrnul Z., 2004: Metody analizy przestrzennej w badaniach klimatologicznych, [w:] Zastosowanie wybranych metod statystycznych w klimatologii, IGI GP UJ, Kraków, 65-88.
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2003: Zróżnicowanie przestrzenne warunków termicznych powietrza Polski z wykorzystaniem GIS, Seria: Atlasy i Monografie, IMGW, Warszawa.
- Wackernagel H., 1998: Splines and kriging with drift, Seminar on Data Spatial Distribution in Meteorology and Climatology, EU Cost79 Publication, Luxembourg, 57-64.

Summary

The methods for analysing of temporal variability of air temperature are presented in the paper. Special attention is paid to the application of GIS tools. Being a leading and so-called continuous climatic element, air temperature is the best known climatic parameter and therefore makes a good base for various theoretical and practical studies. It concerns temporal analyses as well as spatial issues. In the recent years spatial analyses using GIS techniques are fairly frequent. However, there is the lack of studies devoted to temporal analyses of this particular climatic element. The paper is an attempt to use average annual and monthly air temperature for the territory of Poland. The data originate from 213 meteorological stations in Poland and in neighbouring areas and cover 53 years (1951-2003). The data series studied here are fully homogenous, already checked and verified earlier. Application of GIS methods also requires the use of other layers, so in the study digital terrain model (DTM), hydrographical network as well as administrative information were applied. Elevation plays the most important role in the spatial temperature distribution and determination coefficients even exceed 0.95.

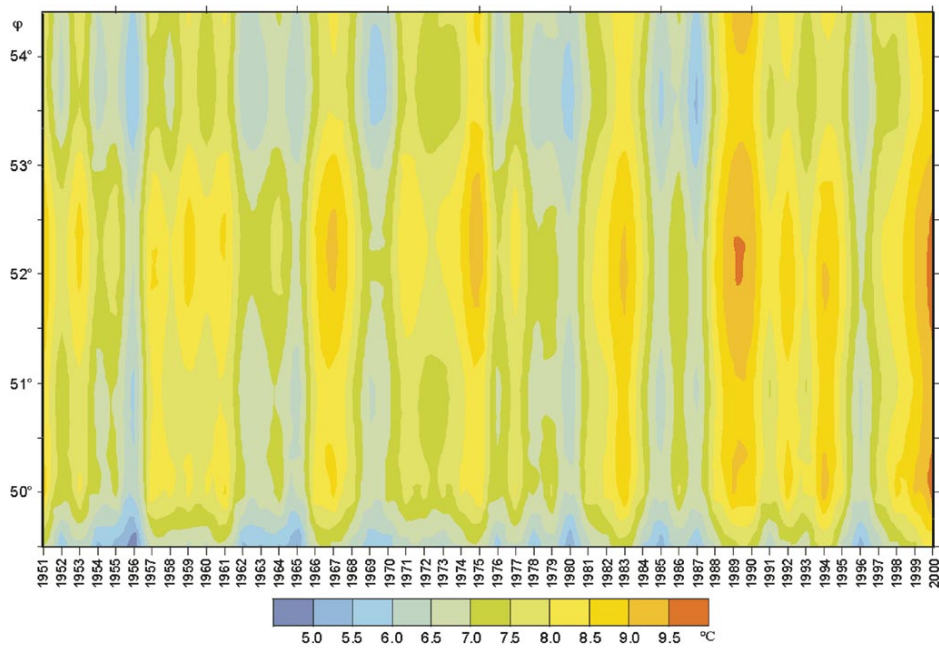
In the first phase the traditional, classical characteristics for temporal analysis were applied such as: linear trend, standard deviation, variation coefficient. Spatial distribution of the above mentioned measures is presented on the maps of Poland. The next step is based on the gridded values. They are available for the 10 km resolution and have been created from the air temperature maps formerly constructed by the residual kriging method. Such data enabled detailed temporal air temperature analyses for the territory of Poland as well as for individual regions. Gridded data provided the base for the construction of different diagrams showing absolute and relative temporal variability for particular territories. Digital dimension of all these graphs allows many various calculations indicating the range and intensity of the air temperature variability. The study contains only some examples of the temporal analyses from a large variety of particular cases. They are rather universal, so they can be applied for different climatic elements and for many temporal and spatial scales. That approach can be a good tool for further detailed processing as well as for formulating synthesis. All investiga-

tions confirm relatively large warming in the recent years. It concerns the whole Poland with the special regard to the central and western regions. However, due to relatively short period this trend does not allow to formulate further conclusions as to the future long-term tendency. Special attention was paid to the extreme thermal seasons of winter and summer. The results univocally show temperature increase during winter since the last years of 80s of the 20th century and they do not confirm any significant tendency for summer.

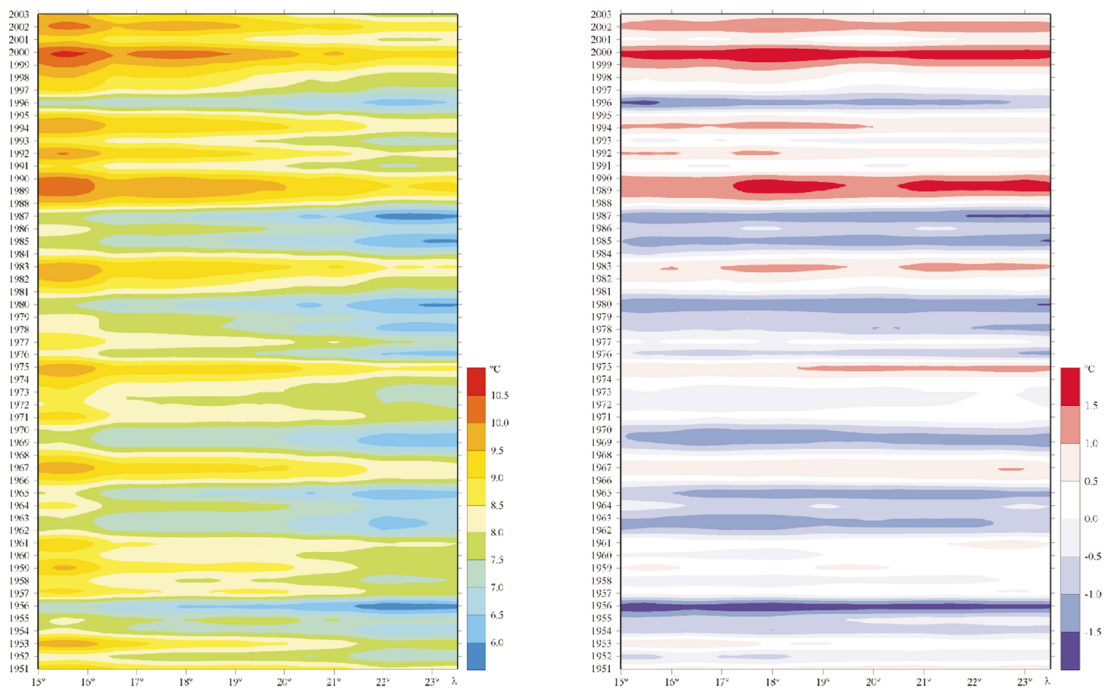
All these results were received based on traditional (station) data as well as on gridded values. Application of the gridded data is quite important from the practical point and for the perspectives of climate change and variability studies. The obtained results point to the main features of the temporal thermal variability and also indicate a considerable spatial diversity not only in the mountain areas but also on Polish Lowlands. At the same time the examples presented here show that digital maps and diagrams allow for various types of calculating and analysing which may add a prominent practical dimension. The results show that climatologic studies with this kind of methodological approach may have a prior cognitive as well as practical meaning. Applied methods can be also used for other environmental elements.

dr hab. Zbigniew Ustrnul, prof. IMGW
zustrnul@wnoz.us.edu.pl
zbigniew.ustrnul@imgw.pl

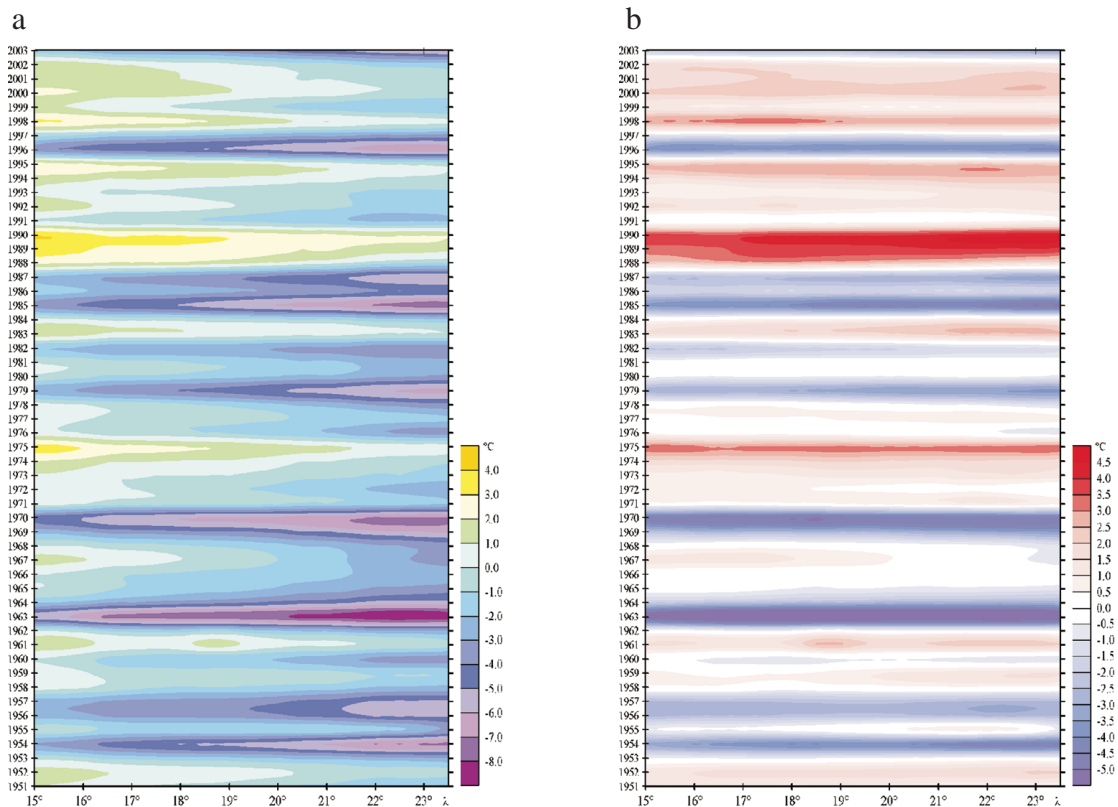
mgr Danuta Czekierda
danuta.czekierda@imgw.pl



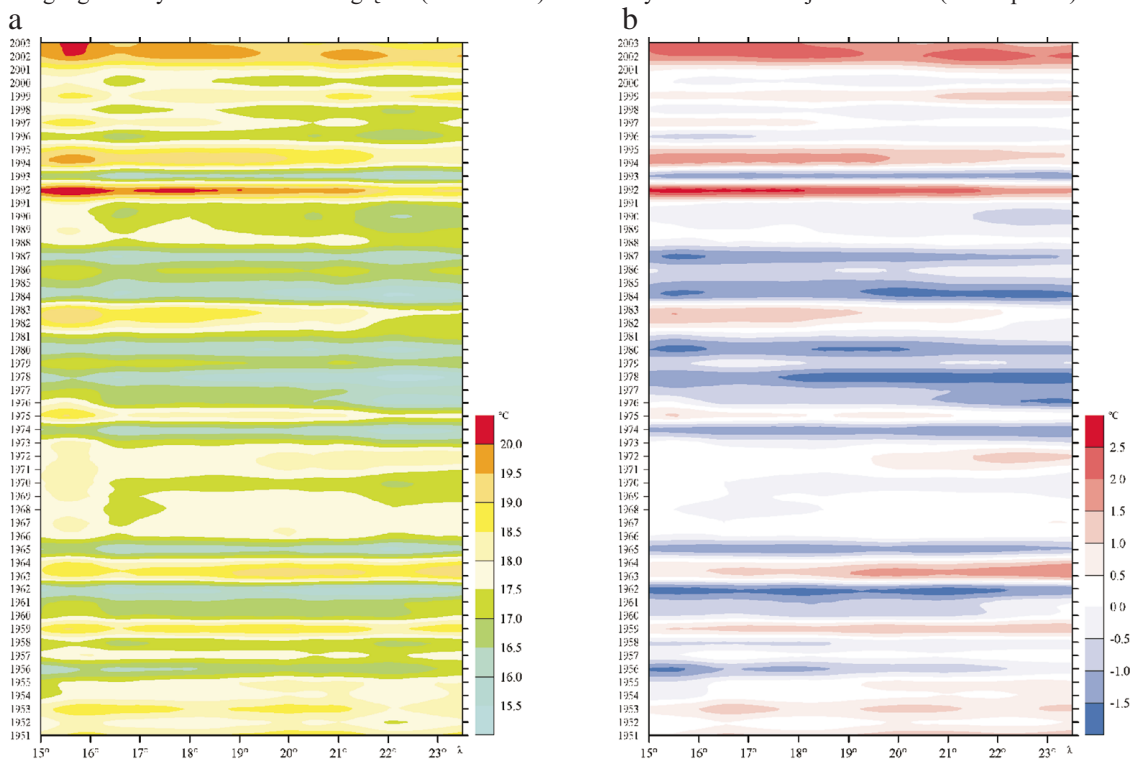
Rys. 4. Rozkład czasowy średniej rocznej temperatury powietrza wzdłuż południka 20°E na poszczególnych szerokościach geograficznych



Rys. 5. Rozkład czasowy średniej rocznej temperatury wzdłuż równoleżnika 52°N na poszczególnych długościach geograficznych – wartości bezwzględne (strona lewa) oraz odchylenia od średniej z wielolecia (strona prawa)



Rys. 6. Rozkład czasowy średniej temperatury zimy wzdłuż równoleżnika 52°N na poszczególnych długościach geograficznych – wartości bezwzględne (strona lewa) oraz odchylenia od średniej z wielolecia (strona prawa)



Rys. 7. Rozkład czasowy średniej temperatury lata wzdłuż równoleżnika 52°N na poszczególnych długościach geograficznych – wartości bezwzględne (strona lewa) oraz odchylenia od średniej z wielolecia (strona prawa)