

**Zbigniew Ustrnul**

Wydział Nauk o Ziemi,  
Uniwersytet Śląski

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej  
Oddział w Krakowie

---

# SYSTEM INFORMACJI GEOGRAFICZNEJ JAKO NARZĘDZIE DO KONSTRUKCJI CYFROWYCH MAP KLIMATYCZNYCH

## Wstęp

Ostatnie lata przyniosły znaczny postęp w rozwoju nowych metod badawczych w większości dyscyplin naukowych, który niewątpliwie wiąże się z gwałtownym rozwojem komputeryzacji. Także w badaniach klimatologicznych postęp taki daje się łatwo zauważyć, co przede wszystkim związane jest z automatycznym zbieraniem informacji meteorologicznej i z powstaniem potężnych cyfrowych baz danych. Dane te z kolei umożliwiają do ich przetwarzania zastosowanie wielu nowych metod i technik, które z jednej strony ułatwiają wykonywanie różnego rodzaju opracowań, z drugiej natomiast pozwalają na ich wnikliwszą i pełniejszą analizę. Jedną z wielu takich metod-narzędzi jest System Informacji Geograficznej (GIS – *Geographic Information System*), którego dynamiczny rozwój można obserwować na całym świecie w ostatnich kilkunastu latach. System ten pozwala na pozyskiwanie i integrację różnego rodzaju danych (tzw. warstw), które mogą być dalej wspólnie wykorzystane w celu dokonania ich analizy, prezentacji i modelowania. Metody GIS są szczególnie przydatne w badaniach przestrzennych do konstrukcji różnego rodzaju map. Wszystkie wymienione dotąd cechy GIS doskonale predestynują go do zastosowania w badaniach klimatologicznych, w tym do detekcji różnego rodzaju zagrożeń. Niestety, do tej pory nie wypracowano zbyt wielu szczegółowych metod wykorzystujących możliwości omawianych technik i w większości są one dopiero na etapie powstawania. Wykorzystanie

metod GIS w klimatologii, mimo znacznego postępu dokonanego w ostatnich latach, jest wciąż w Polsce stosunkowo ograniczone. Ciągłe jeszcze daje się zauważyć przewagę tradycyjnych, na ogół manualnych, metod konstrukcji map klimatycznych, które, choć na ogół poprawnie wykreślone i zredagowane, są wynikiem bardzo żmudnego i uciążliwego procesu ich tworzenia. Oczywiście można znaleźć przykłady zastosowania GIS, ale z reguły dotyczą one małych regionów lub też wąskich zagadnień (*Komputerowy...* 1997; Sobik, Netzel, Quiel 2001; Sobolewski 2001; Bac-Bronowicz 2003; Jezioro 2003; Quiel, Sobik, Rosiński 2003; Stach, Tamulewicz 2003; Ustrnul, Czekerda 2003; Frączek, Bytnerowicz 2004). Nieco lepsza sytuacja w tym zakresie jest za granicą, gdzie w poszczególnych krajach można znaleźć ciekawe przykłady (Auer i in. 2000; Tveito i in. 2000; Dobesch, Tveito, Bessemoulin 2001; *Klimaatlas...* 2001; Brown, Comrie 2002).

Celem niniejszego przyczynku jest przedstawienie możliwości zastosowania narzędzi Geograficznego Systemu Informacji do konstrukcji map klimatycznych i szerzej pojętych badań klimatu. Zamieszczone przykłady pochodzą z opracowań autora, choć niektóre zaczerpnięto też z publikacji zagranicznych.

## Mapa jako podstawowe źródło przestrzennej informacji klimatologicznej

Mapa stanowiła i wciąż stanowi podstawowe, uniwersalne i wszechstronne źródło informacji geograficznej. Dotyczy to chyba jeszcze w większym stopniu map cyfrowych, które zawierają bardzo szczegółową informację zapisaną w formie elektronicznej, umożliwiając ich dalsze, praktycznie nieograniczone przetwarzanie. Te same właściwości posiada też klimatyczna mapa cyfrowa. Jej konstrukcja, w początkowej fazie opracowania, nie jest jednak prosta, gdyż na wstępie wymaga wypracowania właściwej metody interpolacji przestrzennej, tzw. spacializacji. Wybór takiej metody zależy od jakości i ilości danych oraz od charakteru rozpatrywanego elementu klimatu. Dzięki jednak wielu obecnie najszerszym tradycyjnym opracowaniom z zakresu kartografii klimatologicznej niektóre zagadnienia wydają się nieco łatwiejsze do współczesnej, cyfrowej analizy. Wiele wspomnianych prac prezentuje bowiem ilościowe zależności pomiędzy poszczególnymi elementami klimatu a innymi elementami środowiska. Elementy te najczęściej pełnią rolę bardzo istotnych zmiennych objaśniających, które w dużej mierze odpowiedzialne są za określone rozkłady rozpatrywanych zmiennych klimatycznych. Już prace Gorczyńskiego oraz Romera wyznaczyły wysoki poziom oraz znaczenie map klimatycznych. Dzięki nim (Gorczyński 1918; Romer 1938, 1948/1949) wiedza na temat zróżnicowania temperatury powietrza oraz jej zależności od różnych elementów nie różni się zasadniczo od współczesnego stanu. Szczególnie wnikliwie zagadnienie to było badane na obszarze Karpat (Obrebska-Starkłowa 1987). Oprócz map klimatycznych w różnego rodzaju ogólnych lub specjalistycznych atlasach, powstało wiele szczegółowych artykułów traktujących o kartograficznej prezentacji elementów klimatu czy zjawisk pogodowych. Zostały określone związki przyczynowo-skutkowe oraz

statystyczne między różnego rodzaju elementami środowiska a klimatu oraz między elementami klimatu (Hess 1965; Stopa-Boryczka 1973; Boryczka 1977). Wypracowano też szczegółowe założenia metodologiczne do kreślenia map klimatycznych (Paszyński 1980). Najlepiej zagadnienie to zostało opracowane dla temperatury powietrza (Hess 1968; Hess, Niedźwiedź, Obrębska-Starkel 1975; Hess, Niedźwiedź, Obrębska-Starkłowa 1977; Niedźwiedź, Orlicz, Orliczowa 1979), choć inne elementy klimatu też doczekały się wielu ciekawych przykładów (Obrębska-Starkłowa 1977; Leśniak 1980; Olecki 1989).

Ze względu na ogromne zróżnicowanie poszczególnych elementów klimatycznych zarówno w czasie, jak i przestrzeni rola GIS w zastosowaniach klimatologicznych jest szczególnie ważna. Według Chapmana i Thornesa (2003) zastosowania GIS w badaniach klimatu można podzielić na dwie grupy. Jedna pozwala na otrzymywanie profesjonalnych klimatycznych baz danych, druga natomiast określa możliwości ich wykorzystania. Nie wdając się w głębsze dywagacje na ten temat, można stwierdzić, że metody GIS mogą stanowić wręcz wymarzone narzędzie pomocne w badaniach klimatu, którego przedmiotem jest atmosfera w bardzo szeroko pojętej skali czasu i przestrzeni.

Istota stosowania metod GIS polega na integracji wielu różnych danych (zmiennych), które po wstępnym przetworzeniu stanowią tzw. warstwy tematyczne i można je dowolnie wybierać i stosować w celu opracowania rozkładu przestrzenno-czasowego określonych elementów środowiska czy też klimatu. Produktem dalszych takich działań są cyfrowe obrazy (zbiory danych, mapy), będące często podstawą do dalszych obliczeń i rozważań. Dane te zapisane są w odpowiednio uporządkowanym układzie, w formie tzw. gridów. Metody GIS w klimatologii mają nieocenioną wartość, gdyż po opracowaniu określonych algorytmów pozwalają na dalsze, proste i szybkie opracowywanie danych klimatycznych.

Jak więc wynika z powyższych rozważań, mapa stanowi podstawowe źródło informacji do dalszych badań. Należy tu jednak podkreślić, że w odróżnieniu od mapy tradycyjnej rozważa się tutaj mapę cyfrową, która może być poddana wszechstronnej analizie i przetworzeniu w zależności od potrzeb użytkownika. Jednak konstrukcja takiej mapy jest kluczowym i chyba najtrudniejszym etapem w wykorzystaniu metod GIS. Wymaga ona zastosowania określonej metody interpolacji danych (w klimatologii zwykle punktowych), która pozwala na jak najdokładniejsze, najwierniejsze odwzorowanie rzeczywistego zróżnicowania warunków klimatycznych. Metod spacializacji jest wiele, podobnie też jak i ich podziałów. Krótkie ich opisy można spotkać w opracowaniu Magnuszewskiego (1999), a w odniesieniu do klimatologii w pracy pod redakcją Tveito i Schönera (2002) oraz Ustrnula i Czekierdy (2003). Natomiast szczegółowe wytyczne znaleźć można w poszczególnych programach zawierających procedury wybranych metod.

Wyniki różnych badań i prac sugerują, że brak jednej, uniwersalnej metody służącej spacializacji (interpolacji). Nawet przeprowadzenie ilościowej oceny (ewaluacji) poszczególnych metod, poprzez porównanie danych wejściowych z wartościami wyznaczonymi dla tych samych rozpatrywanych punktów, nie pozwala na jednoznaczną ich ocenę, zwłaszcza jeżeli bierze się pod uwagę

różne elementy klimatu oraz ich skale. Trudno zresztą temu się dziwić, gdyż poszczególne elementy klimatu cechują się odmiennym zróżnicowaniem tak przestrzennym, jak i czasowym. W niniejszym przyczynku podane zostaną przede wszystkim przykłady map temperatury powietrza, który to element klimatyczny uważany jest za przewodni i którego zróżnicowanie jest najlepiej rozpoznane zarówno pod względem metodycznym, jak i poznawczym.

Profesjonalna konstrukcja map klimatycznych technikami GIS 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. Oczywiście, możliwe jest wykorzystanie tylko danych klimatycznych, ale uniemożliwia to zastosowanie niektórych metod zarówno deterministycznych, jak i stochastycznych czy mieszanych. W prezentowanych przykładach uwzględniono oba rodzaje danych. Pierwszy z nich stanowił zbiór średnich miesięcznych i dobowych temperatur powietrza pochodzących z około 200 stacji synoptycznych i posterunków klimatologicznych z obszaru całej Polski z lat 1951-2000. Wszystkie dane meteorologiczne zostały poddane rutynowej oraz szczegółowej kontroli odnośnie ich jednorodności, co jest zresztą podstawowym wymogiem wszystkich analiz klimatologicznych. Drugi rodzaj danych, jaki został 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*) z rozdzielczością przestrzenną około 250 m. Model rzeźby dla 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. Uzupełniające warstwy środowiskowe stanowiły dane dotyczące sieci hydrograficznej oraz administracyjnej.

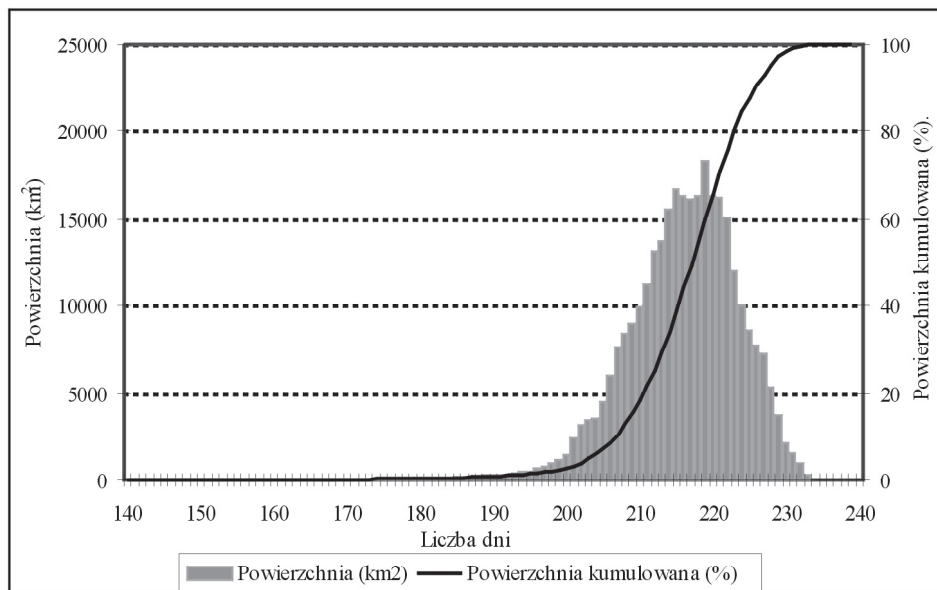
Wyżej wymienione dane posłużyły do konstrukcji wspomnianych map termicznych Polski. Zasadniczym problemem był tylko wybór najwłaściwszej metody analizy przestrzennej. Po wielu próbach uznano, że najlepszą metodą będzie tzw. kriging resztowy (Ustrnul, Czekierda 2003). Metoda ta, zwana też beztrendowym krigingiem (*detrended kriging*), 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.

Jakie są różnice pomiędzy mapą wykreśloną metodą tradycyjną a ujęciem wykorzystującym System Informacji Geograficznej? Pozornie wydaje się, że różnice te nie są istotne. Jednak bliższe przyjrzenie się obu produktom, oczywiście skonstruowanym w podobnej skali, jednoznacznie wskazuje na większą dokładność i precyzję mapy cyfrowej (ryc. 1). Ponadto, i co może najważniejsze,

mapę cyfrową można poddać prawie nieograniczonemu dalszemu przetworzeniu, nie wspominając już o minimalnym czasie jej „produkcji”. Oczywiście, czas ten jest bardzo krótki, jeżeli wcześniej zostanie opracowana metoda konstrukcji (spacjalizacji) danej mapy.

Ryc. 2 przedstawia rozkład przestrzenny czasu trwania tzw. okresu wegetacyjnego (średnia dobowa temperatura powyżej 5°C), mającego bardzo duże znaczenie praktyczne, zwłaszcza dla rolnictwa. Mapy Polski oraz Skandynawii zostały skonstruowane tą samą metodą krigingu resztowego (Tveito i in. 2000). W Polsce długość trwania tego okresu wynosi od ponad 230 dni (Ziemia Lubuska) do poniżej 200 dni w roku (Suwalszczyzna). Warto zauważyć, że wartości te w Polsce, choć podobnego rzędu, różnią się o ponad 30 dni, czyli aż o ponad 1 miesiąc. W Skandynawii zmienność tej charakterystyki termicznej jest jeszcze większa, czego zresztą należało oczekiwać. Długość tego okresu zmienia się od ponad 220 dni na południu do poniżej 100 na północy, nie uwzględniając oczywiście obszarów górskich.

Korzystając z metod GIS-u na bazie map cyfrowych, można też skonstruować wykresy, które mogą mieć ważne znaczenie praktyczne. Tak np. ryc. 3 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



Ryc. 3. Rozkład powierzchni o różnym czasie trwania okresu wegetacyjnego w Polsce  
Fig. 3. Spatial distribution of the growing season in Poland

wykorzystać informację dotyczącą innych elementów oraz określonych regionów czy jednostek administracyjnych: województwa, powiatu czy nawet gminy.

Ciekawe i obiecujące jest połączenie narzędzi GIS z metodami klimatologii synoptycznej. Podejście takie ma szczególne zastosowanie w tzw. klimatologii stosowanej i prognozowaniu zróżnicowania przestrzennego poszczególnych elementów pogody i klimatu (Tveito, Ustrnul 2003). Ryc. 4 przedstawia zróżnicowanie średniej dobowej temperatury powietrza w styczniu przy wystąpieniu cyklonalnego typu cyrkulacji z napływem powietrza z północnego zachodu (tzw. typ CB wg podziału Osuchowskiej-Klein). Ujęcie takie pozwala na precyzyjne określenie średniej dobowej temperatury w poszczególnych punktach przy wystąpieniu określonego typu cyrkulacji. Umożliwia to w efekcie lepsze prognozowanie temperatury i tym samym planowanie określonych działań gospodarczych. Szczególnie istotne jest to przy typach cyrkulacji powodujących występowanie ekstremalnych temperatur powietrza.

Bardzo istotne z uwagi na zagrożenia klimatyczne są mapy przedstawiające prawdopodobieństwo wystąpienia określonych wartości temperatury. Oczywiście, można rozpatrywać temperatury ekstremalne (maksymalne i minimalne), jak też średnie ich wartości zarówno dobowe, jak i sezonowe. Ryc. 4 prezentuje też wartości średniej temperatury stycznia o prawdopodobieństwie wystąpienia 90%. Można z niej odczytać, że z tym prawdopodobieństwem, czyli 9 razy na 10 lat, należy oczekiwać średniej wyższej od  $-4^{\circ}\text{C}$  w zachodniej części kraju i wyższej od  $-10^{\circ}\text{C}$  na krańcach NW. Jednocześnie oznacza to, że średnia stycznia będzie niższa od podanych wyżej wartości z prawdopodobieństwem 10%, czyli raz na 10 lat. Podobne mapy można konstruować dla wartości dobowych, jednak w tym przypadku należy dysponować znacznie większą liczbą danych wyjściowych oraz dokładnie określić ich rozkład przestrzenny.

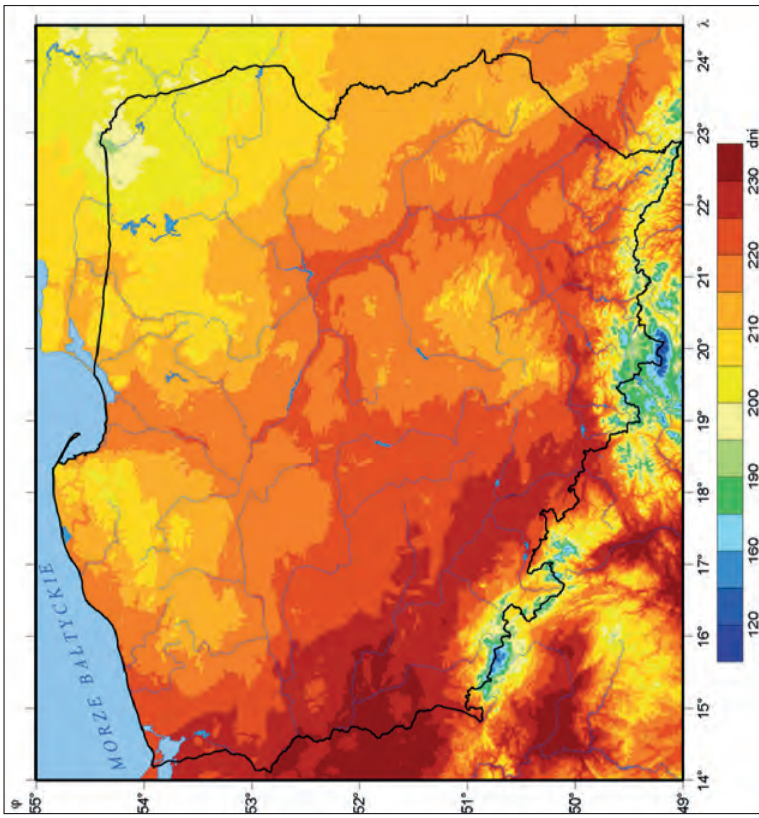
## Monitoring klimatu

Zastosowanie narzędzi GIS do konstrukcji map klimatycznych jest szczególnie przydatne w monitoringu klimatu i detekcji jego zmian i zmienności. W badaniach tych bowiem potrzebna jest na ogół szybka i syntetyczna informacja o zachodzących zjawiskach klimatycznych z jednoczesnym porównaniem ich do uśrednionych, wieloletnich danych. Skonstruowanie nawet prostej mapy rozpatrywanego elementu klimatu z odniesieniem do dłuższego okresu pozwala na szybką ocenę, na ile wystąpienie określonych wartości różniło się od wartości normalnych i jakie może to wywołać reperkusje gospodarcze. Ryc. 5 przedstawia rozkład średniej temperatury sierpnia 2003, który został w niektórych polskich mediach określony jako najcieplejszy, „rekordowy sierpień” po II wojnie światowej, na tle rozkładu temperatury sierpnia 1992 r. Mapa jednoznacznie wskazuje, że to właśnie sierpień 1992 był znacznie cieplejszy.

Metody GIS w badaniach klimatu można również stosować do analizy czasowej zmienności rozpatrywanych elementów. W najprostszym ujęciu bada się zmienność w określonych, wybranych przez użytkownika, punktach wę-

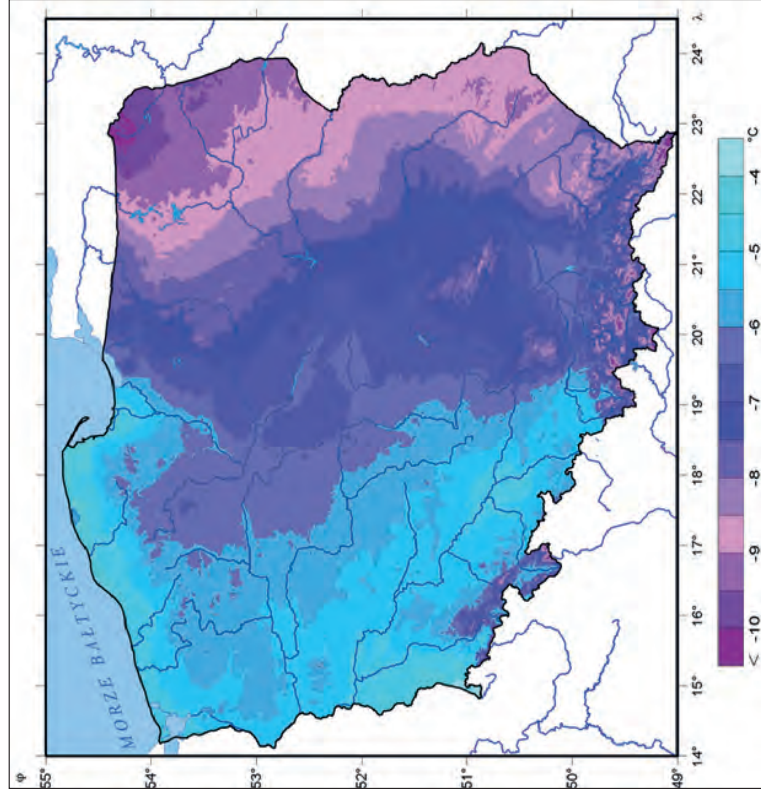
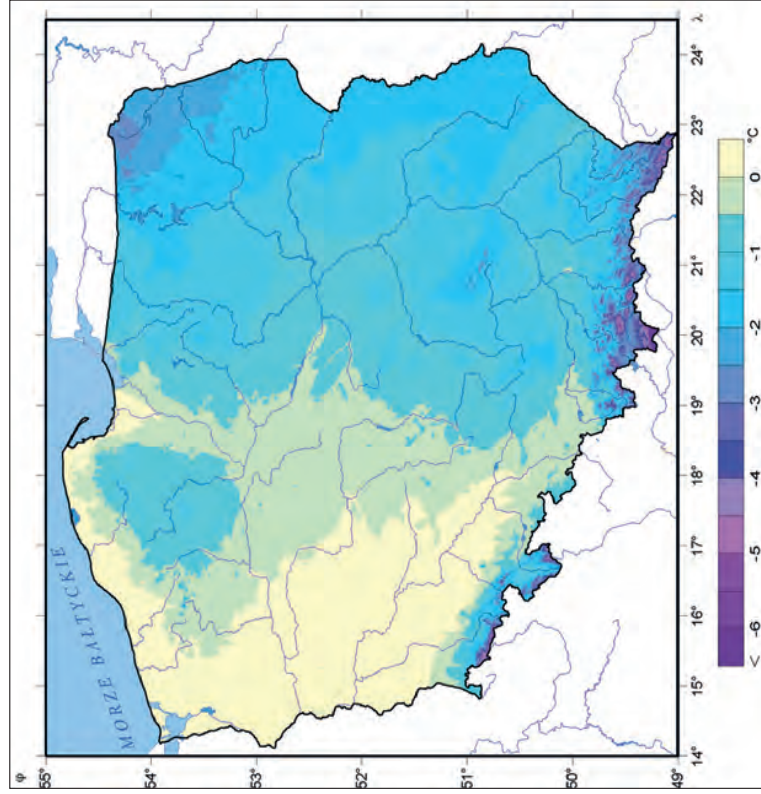






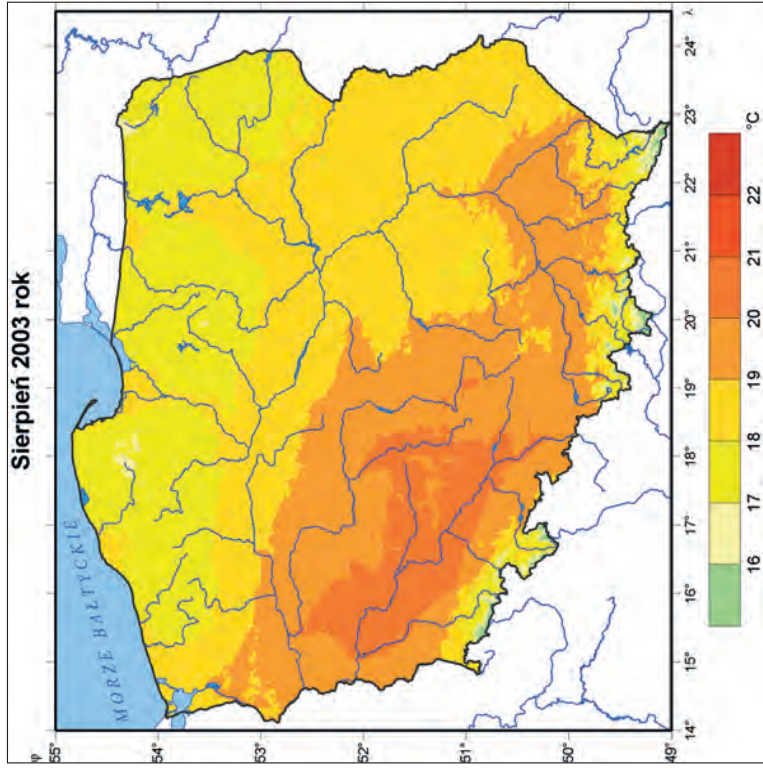
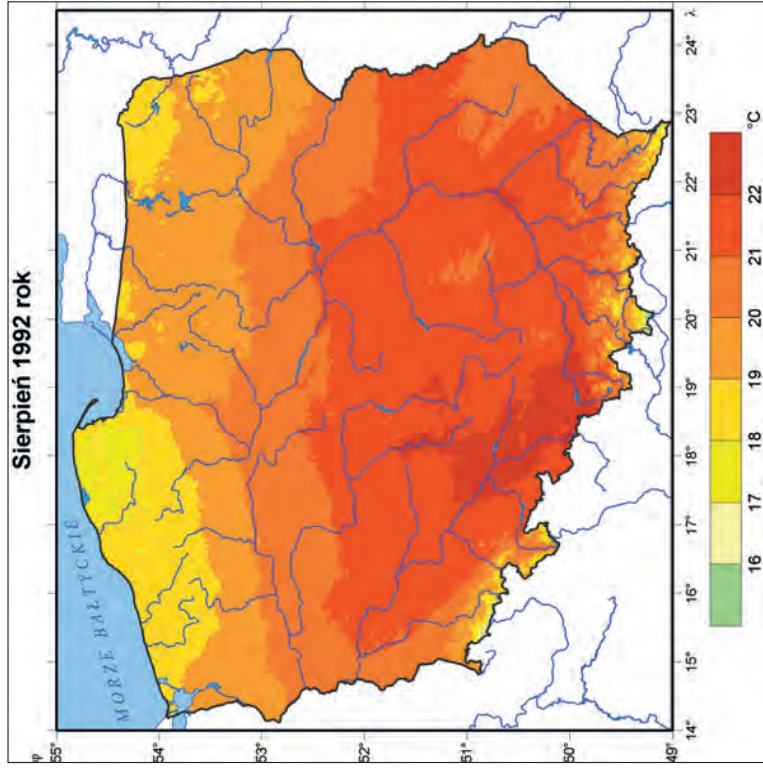
Ryc. 2. Długość trwania okresu wegetacyjnego ( $t > 5^{\circ}\text{C}$ ) w Polsce i Skandynawii, 1961-1990  
 Fig. 2. Duration of the growing season ( $t > 5^{\circ}\text{C}$ ) in Poland and Scandinavia, 1961-1990





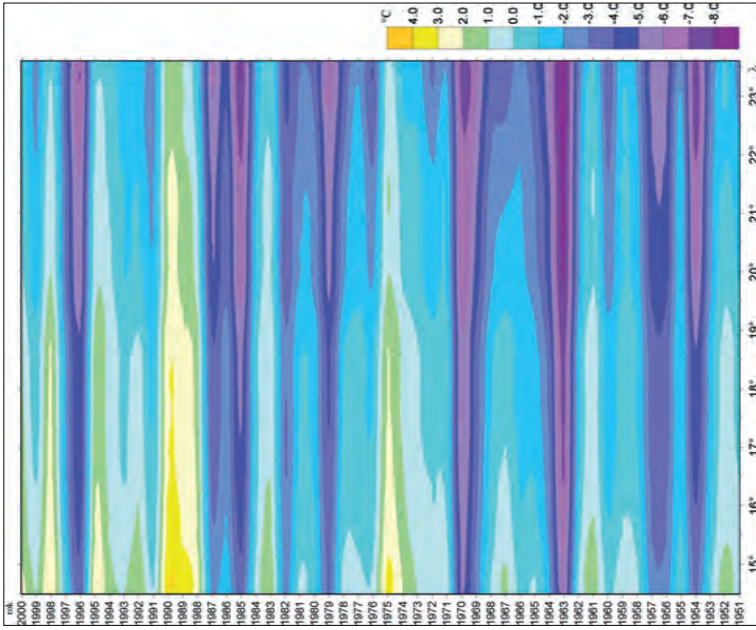
Ryc. 4. Średnia dobowa temperatura styczniowa przy typie cyrkulacji CB wg podziału Obuchowskiej-Klein (strona lewa) oraz średnia temperatura powietrza styczniowa o prawdopodobieństwie wystąpienia 90% (strona prawa), 1951-2000

Fig. 4. Mean daily January temperature during Osuchowska-Klein circulation type CB (left) and mean January air temperature with a 90% probability occurrence (right), 1951-2000

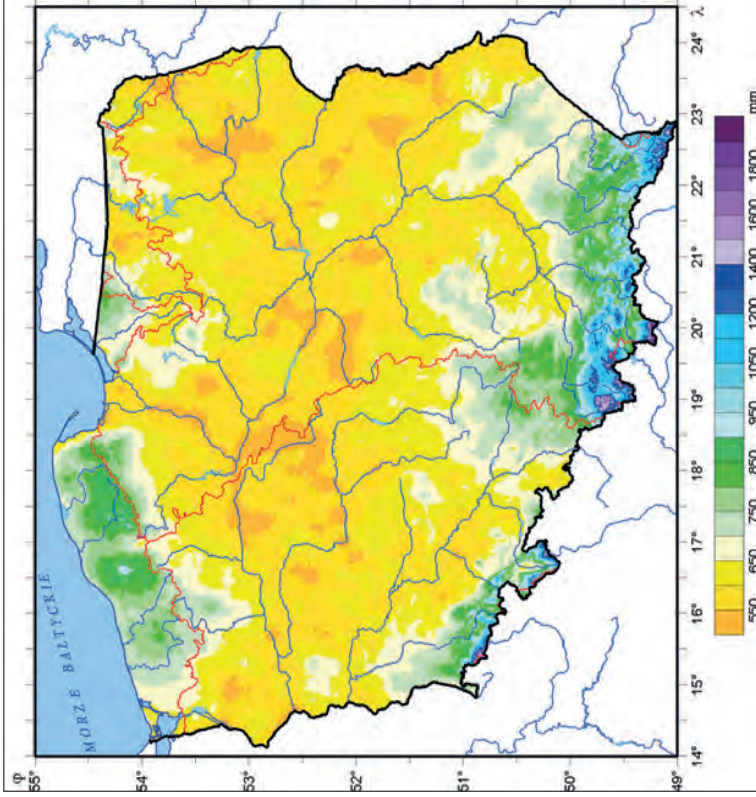


Ryc. 5. Średnia temperatura powietrza w sierpniu 1992 i 2003 r.  
 Fig. 5. Mean August air temperature in 1992 and 2003





Ryc. 6. Rozkład czasowy średniej temperatury zimy w Polsce uśredniony dla szerokości geograficznych na poszczególnych długościach geograficznych  
 Fig. 6. Temporal distribution of the mean winter temperature in Poland averaged for latitudes at the particular longitudes



Ryc. 7. Sumy roczne opadów atmosferycznych w Polsce (1993-2002)  
 Fig. 7. Annual precipitation totals in Poland (1993-2002)

złowych - gridach. Ale GIS umożliwia analizę zmiennych również w ujęciu przestrzennym, gdzie poddaje się ocenie rozpatrywany obszar. Ryc. 6 ilustruje na przykład zmienność temperatury zimy w Polsce w okresie 50 lat 1951-2000 na poszczególnych długościach geograficznych uśrednioną dla wszystkich szerokości. 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. Rycina ta potwierdza też istnienie serii łagodnych zim przełomu lat 80. i 90. Zróżnicowanie przestrzenne wykazuje istnienie różnic pomiędzy surowszymi warunkami termicznymi wschodniej części Polski a jej znacznie łagodniejszymi krańcami zachodnimi.

Dotychczas prezentowane przykłady zastosowania metod i narzędzi GIS do badania klimatu i jego zagrożeń oparte były na analizie temperatury powietrza. Jak wcześniej podano, jest to związane z najlepiej rozpoznany rozkładem czasowo-przestrzennym tego elementu, jak też i doświadczeniami autora. Nie oznacza to jednak, że inne elementy klimatyczne nie mogą być przedstawione w podobny sposób. Tak na przykład ryc. 7 prezentuje rozkład rocznych sum opadów atmosferycznych w Polsce. Mapa ta została również skonstruowana metodą krigingu resztowego, choć do tego elementu stosowane były też inne metody analizy przestrzennej (Stach, Tamulewicz 2003).

## Wnioski

System Informacji Geograficznej jako współcześnie stosowane narzędzie w wielu naukach, w tym zwłaszcza w naukach o Ziemi, może być z powodzeniem wykorzystany w badaniach klimatu. Zastosowanie GIS wydaje się nawet tu konieczne ze względu na możliwości, jakie system ten posiada. Wnosi on bowiem zupełnie nową jakość do badań klimatologicznych, pozwalając na cyfrową analizę danych i ich prezentację. Stwarza to praktycznie nieograniczone możliwości w dalszym przetwarzaniu informacji klimatologicznej, zarówno w analizie przestrzennej, jak i czasowej.

Podstawowe zalety i cechy GIS decydujące o jego roli i znaczeniu w różnego rodzaju opracowaniach klimatycznych to przede wszystkim obiektywizm metod oraz możliwość stosowania niemal automatycznego podejścia w wielu opracowaniach. System Informacji Geograficznej to również możliwość praktycznie nieograniczonego przetwarzania danych i ich opracowywania. Cyfrowa jakość informacji stwarza też nowe możliwości przy analizie klimatu i poszczególnych jego charakterystyk do celów praktycznych. Trudno sobie dziś wyobrazić różnego rodzaju ocenę klimatu rozpatrywaną przestrzennie bez map cyfrowych i ich szczegółowych analiz. Również monitoring klimatu czy detekcja jego zmian i zmienności, prowadzona przy zastosowaniu metod GIS, jest o wiele dokładniejsza i jednocześnie znacznie prostsza niż przy użyciu technik tradycyjnych.

W opracowaniach klimatologicznych wykorzystujących GIS należy zdać sobie jednak sprawę, że do właściwej konstrukcji każdej mapy konieczne są przede wszystkim bezbłędne, jednorodne wyjściowe dane meteorologiczne.

Zastosowanie nawet najlepszej metody interpolacji nie zastąpi homogenicznych danych o wymaganej, dla rozpatrywanej skali przestrzennej i czasowej, rozdzielczości. Przy prowadzeniu współczesnych badań klimatu z zastosowaniem metod GIS należy sięgać do dotychczasowych prac, osiągnięć i doświadczeń. Często bowiem różnego rodzaju zależności zostały już wcześniej stwierdzone i mogą być wykorzystane do budowy modeli służących rozwiązaniu określonych zagadnień.

## LITERATURA

- Atlas Rzeczypospolitej Polskiej*, 1994-1995, PPWK, Warszawa.
- Auer I., Böhm R., Mohnl H., Potzmann R., Schöner 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.
- Bac-Bronowicz J., 2003, *Methods of the visualisation 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, 559-563.
- Boryczka J., 1977, *Empiryczne równania klimatu Polski*, Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Brown D. P., Comrie A. C., 2002, *Spatial modeling of winter temperature and precipitation in Arizona and New Mexico, USA*, *Climate Research*, 22, 115-128.
- Chapman L., Thornes J.E., 2003, *The use of geographical information systems in climatology and meteorology*, *Progress in Physical Geography*, 27, 3, 313-330.
- 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.
- Frączek W., Bytnerowicz A., 2004, *Geostatistics as a tool for evaluation of ambient ozone distribution models in the Tatra Mountains*, [w:] *A message from the Tatra – Geographical Information Systems and Remote Sensing in Mountain Environmental Research*, Kraków – Riverside, Jagiellonian University Press, 47-61.
- Global 30 Arc-Second Elevation Data Set (GTOPO30)*, adres www: <http://edcdaac.usgs.gov/dataproducts.asp>
- Gorczyński W., 1918, *Nowe izotermie Polski, Europy i kuli ziemskiej*, Warszawa.
- Hess M., 1965, *Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich*, *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 11.
- Hess M., 1968, *Metoda określania ilościowego zróżnicowania mezoklimatycznego w terenach górskich*, *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 18, 7-26.
- Hess M., Niedźwiedz T., Obrębska-Starkel B., 1975, *The methods of constructing of climatic maps of various scales for mountainous and upland territories exemplified by the maps prepared for Southern Poland*, *Geographia Polonica*, 31, 163-187.
- Hess M., Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., 1977, *Stosunki termiczne Beskidu Niskiego – metoda charakterystyki reżimu termicznego gór*, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, *Prace Geograficzne*, 123.

- Jeziorno 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 20<sup>th</sup> century*, Studia Geograficzne, 75, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, 551-558.
- Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland*, 2001, Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. Main, 1.
- Komputerowy atlas województwa krakowskiego*, 1997, K. Trafas, K. Pyka (red.), Urząd Wojewódzki w Krakowie.
- Leśniak B., 1980, *Pokrywa śnieżna w dorzeczu górnej Wisły*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 51, 75-127.
- Magnuszewski A., 1999, *GIS w geografii fizycznej*, PWN, Warszawa.
- Niedźwiedz T., Orlicz M., Orliczowa J., 1979, *Temperatura powietrza w Karpatach Polskich*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Kraków, maszynopis.
- Obrebska-Starkłowa B., 1977, *Typologia i regionalizacja fenologiczno-klimatyczna na przykładzie dorzecza górnej Wisły*, Uniwersytet Jagielloński, Rozprawy Habilitacyjne, 11, Kraków.
- Obrebska-Starkłowa B., 1987, *Dzieje kartograficznego przedstawiania klimatu Polskich Karpat* [w:] *Z dziejów kartografii*, 4, Wrocław, 95-122.
- Olecki Z., 1989, *Bilans promieniowania słonecznego w dorzeczu górnej Wisły*, Uniwersytet Jagielloński, Rozprawy Habilitacyjne, 157, Kraków.
- Paszyński J., 1980, *Metody sporządzania map topoklimatycznych*, Dokumentacja Geograficzna, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, 3.
- Romer E., 1938, *Pogląd na klimat Polski*, Czasopismo Geograficzne, 16, 193-224.
- Romer E., 1948/1949, *Rehabilitacja wartości średniej temperatury roku*, Przegląd Geograficzny, 22, 213-224.
- 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 20<sup>th</sup> century*, Studia Geograficzne, 75, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, 541-550.
- Sobik M., Netzel P., Quiel F., 2001, *Zastosowanie modelu rastrowego do określenia pola rocznej sumy opadów atmosferycznych na Dolnym Śląsku*, Uniwersytet Gdański, Rocznik Fizycznogeograficzny, 6, 27-34.
- Sobolewski W., 2001, *Numeryczna mapa opadów atmosferycznych dla dorzecza Wisły*, Uniwersytet Gdański, Rocznik Fizycznogeograficzny, 6, 79-84.
- Stach A., Tamulewicz J., 2003, *Wstępna ocena przydatności wybranych algorytmów przestrzennej estymacji miesięcznych i rocznych sum opadów na obszarze Polski*, [w:] A. Kostrzewski, J. Szpikowski (red.), *Funkcjonowanie ekosystemów zlewni rzecznych*, 3, Instytut Badań Czwartorzędu i Geoekologii UAM, Bogucki Wyd. Naukowe, Poznań, 87-111.
- Stopa-Boryczka M., 1973, *Cechy termiczne klimatu Polski*, Rozprawy Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- 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, 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)*, DNMI, KLIMA, 28, Oslo.



- Tveito O. E., Ustrnul Z., 2003, *A review of the use of large-scale atmospheric circulation classification in spatial climatology*, DNMI, KLIMA, 10, Oslo.
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2003, *Zróżnicowanie przestrzenne warunków termicznych powietrza Polski z wykorzystaniem GIS*, Seria: Atlasy i Monografie, IMGW, Warszawa.

## GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM AS A TOOL FOR THE CONSTRUCTION OF THE DIGITAL CLIMATIC MAPS

### SUMMARY

The paper presents possibilities of GIS in construction of the digital climatic maps. In the first part the role of the climatic maps as the main source of the climatological information is discussed. Main features of the both climatic maps – traditional as well digital – have been described. It was stated that digital products are much more reliable especially for further processing. The study confirmed that the application of GIS techniques is a useful and promising tool for constructing climate maps at different scales. There are several spatialisation methods suitable for the construction of climatic maps. However, residual kriging seems to be the most adequate for the spatial interpolation of air temperature in Poland and Central Europe. Several geographic parameters, including elevation, latitude, longitude, and distance to the Baltic coast were used as predictor variables for air temperature interpolation. The climatological dataset contained mean monthly and daily temperatures from about 200 stations located across the entire territory of Poland for the 50-year period 1951-2000 as well as precipitation totals for shorter periods. The first map contains the example of comparison between the traditional and digital product (Fig. 1). It is clearly seen that much higher accuracy and precision can be observed at digital map. The next example presents application of digital map for spatial purposes (Fig. 2). Finally, there are some examples presenting GIS as the tool enabling the easy calculation and visualization of the area with specified climatic conditions (Fig. 3-4) as well as constructing maps for the climate monitoring purposes (Fig. 5-7).

*Translated by Author*