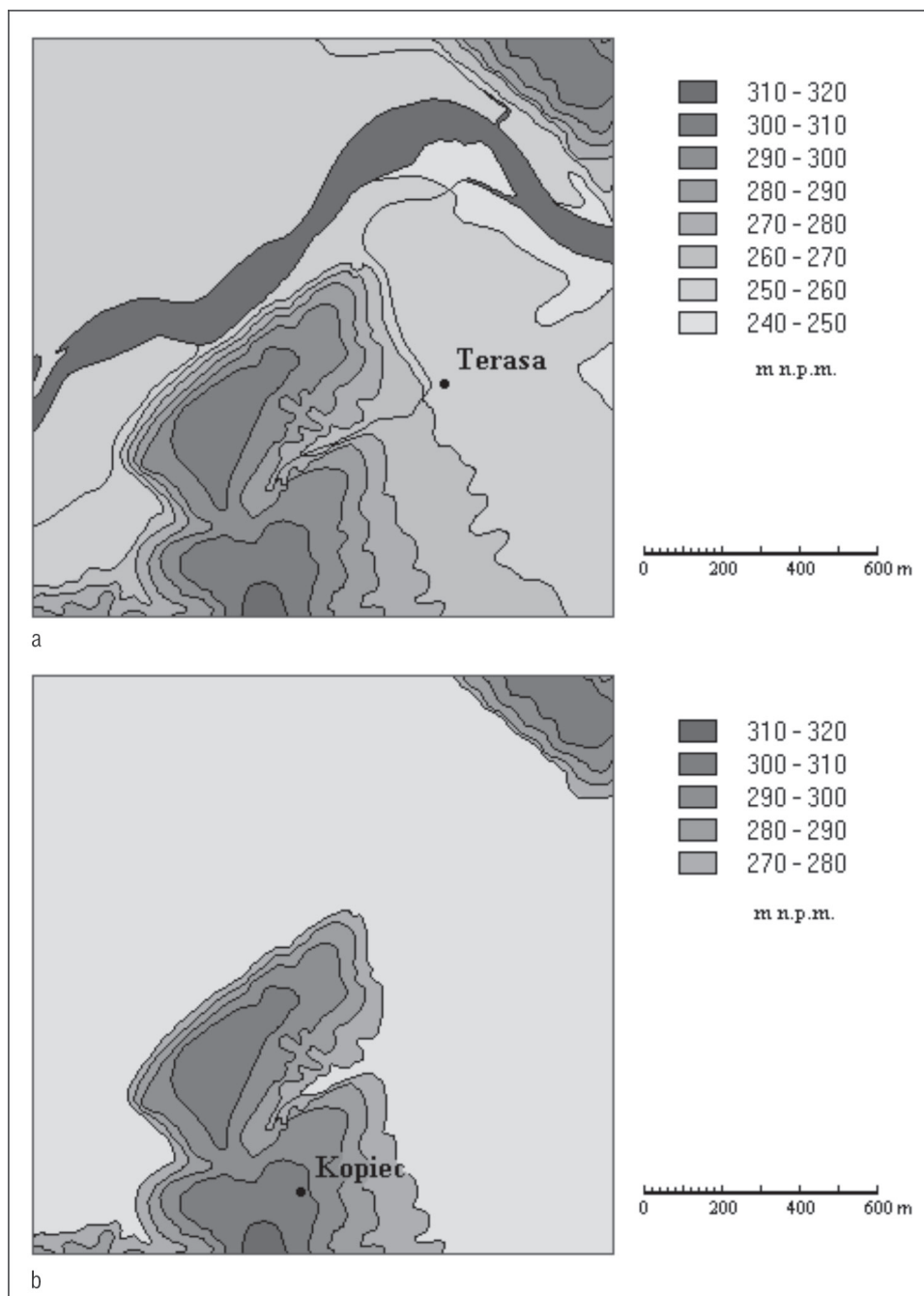


Wykorzystanie analizy skupień do typologii dziennego przebiegu pionowych gradientów temperatury powietrza w przygruntowej warstwie powietrza na Pogórze Wielickim

1. Wprowadzenie

Warunki klimatyczne panujące w najniższej, przygruntowej warstwie atmosfery mają bezpośredni wpływ na funkcjonowanie ekosystemów i warunki życia człowieka. Są one zarazem bardzo zróżnicowane przestrzennie i czasowo, co znacznie utrudnia ich badanie. Pomiary prowadzone w skali mikro- i mezoklimatycznej to najczęściej krótkie serie, za to wykonywane w wielu blisko siebie położonych punktach i z dużą częstotliwością. Badania takie pozwalają na rozpoznanie zróżnicowania topoklimatycznego, ale nie dają możliwości analizy jego zmienności w poszczególnych porach roku czy też w kolejnych latach. Ponadto wyniki uzyskane z krótkich serii pomiarowych nie pozwalają wnioskować o trwałych cechach topoklimatycznych danego obszaru, ponieważ warunki meteorologiczne panujące w jakimś krótkim okresie wybranym do pomiarów nie mogą być reprezentatywne dla wszystkich typów pogody występujących na danym obszarze.

Stacja Naukowa Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, mieszcząca się w Gaiku-Brzezowej, około 30 km na południe od Krakowa, na Pogórze Wielickim, nad Zbiornikiem Dobczyckim ($\varphi=49^{\circ}52'N$, $\lambda=20^{\circ}04'E$, $h=302$ m n.p.m.), dysponuje unikatową wieloletnią serią pomiarów mikroklimatycznych, prowadzonych od końca lat 60. XX wieku. Obszerność materiału obserwacyjnego pozwala m.in. uzyskać uśredniony obraz dziennego przebiegu gradientów temperatury w ciągu roku w dwu różnych formach terenu. W niniejszej pracy przeanalizowano gradienty termiczne z uwagi na ich syntetyczność: wielkość gradientu informuje w sposób ilościowy o warunkach termicznych całej omawianej warstwy powietrza, zaś jego znak – o kierunku transportu ciepła, a zatem pośrednio i o procesach go wywołujących. Przeanalizowano pomiary z lat 1976-1980 oraz 1988-97. W pierwszym pięcioleciu stacja znajdowała się w dolinie Raby (stacja „Terasa”, 259 m n.p.m.), ale prace związane z budową Zbiornika Dobczyckiego spowodowały przeniesienie jej na pobliską wierzchołkę, gdzie znajduje się do dziś (stacja „Kopiec”, 302 m n.p.m.) i skąd pochodzą dane z dziesięciolecia 1988-97 (ryc. 1 a i b).



Ryc.1. Położenie stacji głównej w Gaiku-Brzezowej: a) w latach 1976-80, b) w latach 1988-1997

Do obliczenia pionowych gradientów termicznych wykorzystano codzienne pomiary temperatury powietrza z sześciu terminów pomiarowych (6, 8, 12, 14, 18, 20 UTC) z dwu klatek meteorologicznych (0,5 i 2 m n.p.g.). Różnice temperatury dla warstwy powietrza o miąższości 1,5 m zostały przeliczone na gradienty ($^{\circ}\text{C}/1$ m wysokości). Ujemne wartości gradientów oznaczają inwersję temperatury, zaś dodatnie – normalne uwarstwienie termiczne. Mimo, że dla dna doliny dysponujemy tylko pięcioletnią serią obserwacyjną, zaś dla wierzchowiny danymi z dziesięciu lat, możemy dokonywać porównania wyników obliczeń, gdyż różnice między pięcioletnimi 1988-92 i 1993-97 oraz okresem 1988-97 są mniej znaczące niż różnice między obiema formami terenu. Dodatkową okolicznością sprzyjającą porównaniu danych z obu okresów jest fakt, że nie różniły się one znacząco przebiegiem temperatury powietrza, co można stwierdzić na podstawie danych ze stacji meteorologicznej Zakładu Klimatologii IGiP UJ w Krakowie-Ogrodzie Botanicznym (Bokwa 2000). Celem badania była typologia dziennego przebiegu gradientów temperatury, czyli ogólny obraz stosunków termicznych w dziennej porze doby. Wydzielenie zbiorów danych do analizy wynikało z natury samych danych jak też celu badania. W latach 1976-1980 pomiary były wykonywane na terasie doliny, a w latach 1988-1997 - na wierzchowinie, co oznacza, że oba okresy należy rozpatrywać oddzielnie, gdyż wyniki są reprezentatywne dla dwu różnych form terenu.

Termin „typologia” jest używany w geografii przede wszystkim przy wydzieleniu geokompleksów, ale towarzyszące mu założenia są akceptowane także w szczegółowych badaniach poszczególnych dyscyplin geografii. Jak pisze A. Richling (1992), „typologia jest klasyfikacją prowadzoną ze względu na podobieństwa. Polega ona na szukaniu cech wspólnych i prawidłowości w strukturze geokompleksów. Najbardziej uchwytą różnicą pomiędzy jednostkami regionalnymi i typologicznymi jest to, że pierwsze występują zawsze tylko w jednym egzemplarzu tworząc niepowtarzalne indywiduum, a drugie rozmieszczone są mozaikowo, ich zasięgi są rozerwane i jednostki tego samego typu występują niejednokrotnie w znacznych od siebie odległościach”. Przykładem zastosowania tych założeń w badaniach geokompleksów jest np. praca K. German (1992). W klimatologii natomiast takim przykładem może być praca B. Obrebskiej-Starkłowej (1973), prezentująca typy mezo- i mikroklimatu na terenie Szymbarku. Praca A. Wosia (1995), poświęcona klimatowi Polski, przedstawia nową metodę wydzielenia typów pogody, których częstości są podstawą nowej metody regionalizacji klimatycznej Polski. Natomiast prace Lewika i Nowosada (Bednorz i in. 2003) także poświęcone są typologiom klimatycznym, opartym na szukaniu podobieństwa, ale zmierzającym do wydzielenia sezonów klimatycznych. Typologia zaprezentowana w niniejszej pracy jest zatem próbą wykorzystania dotychczasowych doświadczeń, ale w skali topoklimatycznej, w celu lepszego poznania warunków termicznych przygruntowej warstwy powietrza.

2. Hierarchiczne i niehierarchiczne metody analizy skupień

Omawiana typologia została uzyskana przy pomocy niehierarchicznej metody k średnich, ale dane wyjściowe przeanalizowano także przy pomocy hierarchicznych

metod: średnich ważonych połączeń i minimalnej wariancji (Warda). Założenia metod analizy skupień i metody k średnich zostały przedstawione w pracy Gabąły (2004) w niniejszym tomie. Poniżej omówione są nieco szerzej metody hierarchiczne. Analiza skupień jest używana m.in. w geografii do grupowania danych, tak obiektów jak też zmiennych (Metody ilościowe... 1977; Metody taksonomiczne... 1980). Jest to metoda przydatna szczególnie w analizie wielowymiarowej, a z taką mamy do czynienia w niniejszej pracy.

Metody hierarchiczne dzielimy na aglomeracyjne (łącznie) i dzielące. Na potrzeby niniejszego opracowania wybrano grupę metod aglomeracyjnych, których ogólne założenie jest następujące: każdy obiekt traktowany jest jako jednoelementowe skupienie i łączony z innymi w kolejne skupienia na podstawie wartości funkcji podobieństwa. W efekcie uzyskuje się dendryt skupień, gdzie skupienia uszeregowane są hierarchicznie, skupienia niższego rzędu wchodzi w skład skupień wyższego rzędu (Marek 1989). Spośród wszystkich metod analizy skupień metody hierarchiczne są znacznie szerzej opisane w literaturze i częściej włączane do komputerowych pakietów statystycznych niż metody niehierarchiczne.

Hierarchiczne, aglomeracyjne metody analizy skupień określane są często w skrócie metodami SAHN (metody sekwencyjne, aglomeracyjne, hierarchiczne i dające w efekcie nie pokrywające się skupienia). We wszystkich tych metodach na początku każdy element zbioru tworzy skupienie jednoelementowe. Następnie w macierzy odległości lub podobieństwa wyszukiwana jest najbliższa sobie para skupień, które łączone są w jedno nowe zaglomerowane skupienie. W konsekwencji pojawia się konieczność zmiany macierzy odległości lub podobieństwa uwzględniającej powstanie nowego skupienia. Wymiar macierzy redukowany jest o jeden. Różnice między poszczególnymi metodami SAHN polegają właśnie na tym jak wyznaczana jest odległość lub podobieństwo pomiędzy nowo powstałym skupieniem, a pozostałymi, już istniejącymi skupieniami (Marek 1989). Spośród wielu metod SAHN najbardziej polecane są dwie: średnich ważonych połączeń i minimalnej wariancji (Warda), jako dające najlepsze rezultaty dla różnych rodzajów danych (SAS/STAT User's Guide 1989). Obie te metody zostały zastosowane dla danych z Gaika-Brzezowej.

W metodzie średnich ważonych połączeń przekształcenie macierzy odległości (podobieństw) opiera się na wyliczeniu średnich ważonych odległości między nowo powstałym skupieniem a wszystkimi pozostałymi, a jako wagi przyjmowane są liczebności względne skupień, które utworzyły nowe skupienie (Marek 1989). Natomiast w metodzie minimalnej wariancji (Warda) łączone są te skupienia, które po połączeniu w nowe skupienie zapewniają minimum sumy kwadratów odchyień wszystkich elementów od środka ciężkości nowego skupienia (Metody taksonomiczne... 1980). Metoda średnich ważonych połączeń dąży do utworzenia skupień o podobnej wariancji, natomiast metoda Warda, tak jak metoda k średnich, ma tendencję do tworzenia skupień o podobnej liczebności (SAS/STAT User's Guide 1989). Określając wyniki końcowe zastosowania metod hierarchicznych zazwyczaj analizuje się dendrogram przedstawiający przebieg skupiania.

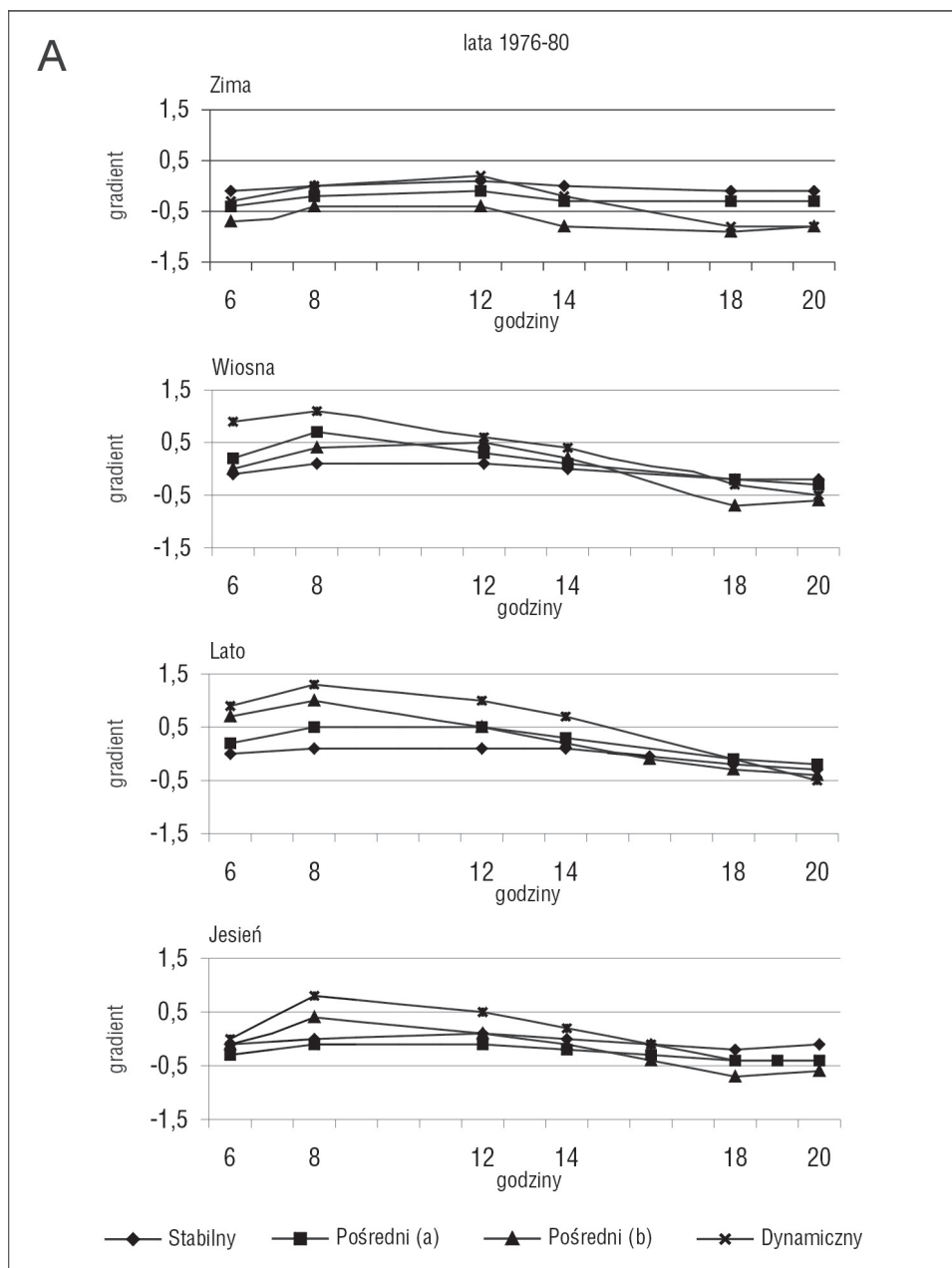
3. Typologia dziennego przebiegu gradientów

W niniejszym opracowaniu zastosowano najpierw metodę niehierarchiczną, gdyż jej założenia zostały ocenione przez autorkę jako odpowiedniejsze dla danych z Gaika-Brzezowej niż założenia metod hierarchicznych. Z uwagi jednak na fakt, że tego rodzaju analiza dla danych o temperaturze powietrza nie była dotychczas wykonywana zrodziła się potrzeba przeprowadzenia analizy skupień także metodami hierarchicznymi, w celu porównania wyników obu rodzajów metod i oceny, która z nich daje lepsze rezultaty; lepsze jedynie z punktu widzenia celu niniejszego opracowania.

Analizowano zbiory dobowych przebiegów gradientów temperatury powietrza (sześć wartości gradientów dla każdego dnia). Całość materiału podzielono na mniejsze zbiory nawiązujące do kalendarzowych pór roku (np. od marca do maja 1976-1980) i dla obu form terenu, przy czym dla wierzchowiny analizowano tak całe dziesięciolecie jak też oba pięciolecia. Każdy taki zbiór poddano analizie skupień trzema metodami: *k* średnich oraz Warda i średnich połączeń. W klimatologii okres pięcioletni czy dziesięcioletni nie jest zazwyczaj uznawany za wystarczający do wyciągania ogólnych wniosków, ale w tym przypadku rozpatrywana była seria mikroklimatyczna, a badane były gradienty termiczne, nie zaś temperatura. Pojawiła się konieczność znalezienia w obu zbiorach danych (1976-1980 i 1988-1997) podobnych dziennych przebiegów gradientów, świadczących o podobnej stratyfikacji termicznej i wymianie ciepła między podłożem i atmosferą. Analizowanie całych obu zbiorów jest możliwe, ale niecelowe z punktu widzenia klimatologii, gdyż w ciągu roku warunki termiczne, jak też czynniki je warunkujące, znacznie się zmieniają. W związku z tym zdecydowano się podzielić oba zbiory na kalendarzowe pory roku, co jest zgodne z praktyką klimatologiczną, choć w przypadku przejściowych pór roku może być niewystarczające. Niemniej jednak biorąc pod uwagę, że opracowanie ma charakter pionierski i brak innych prac, z którymi można by je porównać – przyjęto podział na kalendarzowe pory roku. Rozważano wykonywanie analizy skupień w odniesieniu do poszczególnych miesięcy, gdyż zazwyczaj np. statystyki opisowe oblicza się przede wszystkim w ujęciu miesięcznym. W tym przypadku jednak rezultaty byłyby nieprzydatne dla typologii, która była celem badania. Zamiast ogólnego obrazu otrzymalibyśmy mozaikę o charakterze szumu informacyjnego. Liczebność próby ma bowiem duże znaczenie w analizie skupień.

Przygotowane zbiory danych zostały poddane analizie skupień. W wyniku zastosowania metody *k* średnich otrzymano dla dna doliny (dane z lat 1976-1980) po 4 typy dziennego przebiegu gradientów w każdej porze roku, dla wierzchowiny zaś po 4 zimą i na wiosnę oraz po 5 latem i jesienią (dane z lat 1988-1997). Przebiegi średnich wartości gradientów w poszczególnych terminach, reprezentujące poszczególne skupienia ukazuje rycina 2.

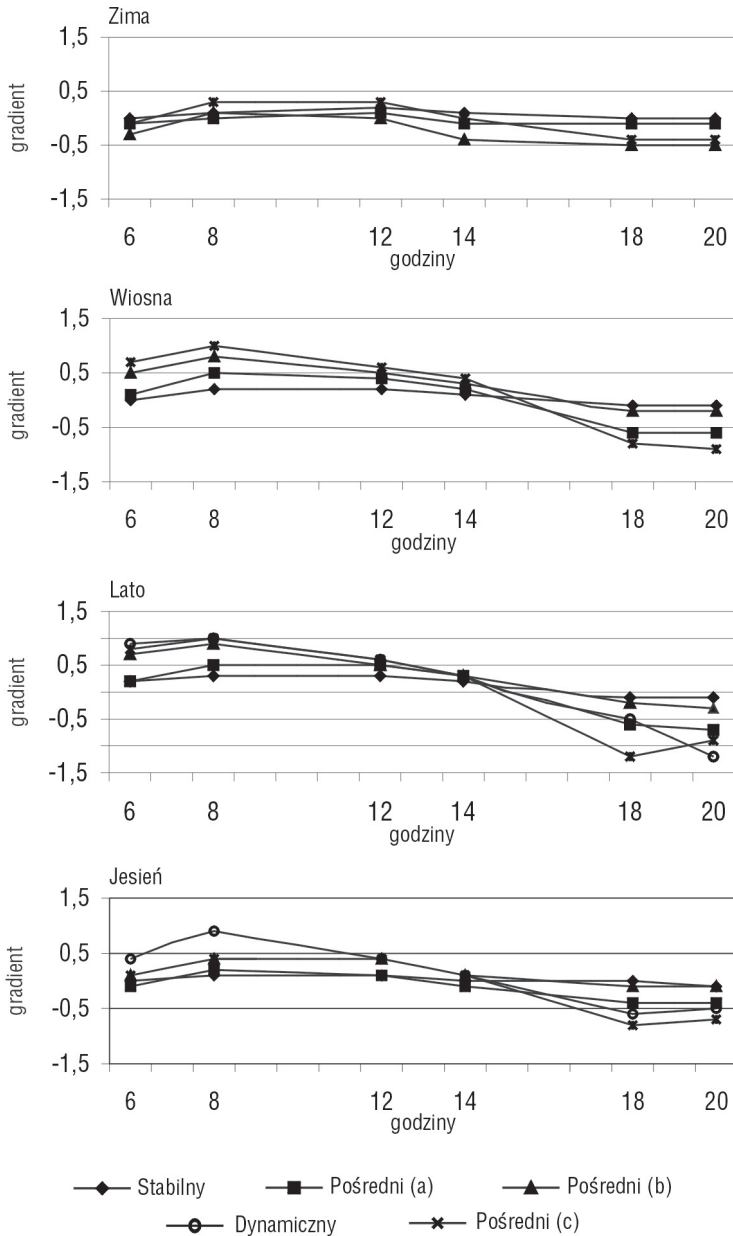
Sekwencja średnich wartości gradientów w danym skupieniu wyznacza typ dziennego przebiegu tego elementu. Każdy typ został nazwany stosownie do zróżnicowania wartości gradientów i dynamiki ich przebiegu. W typologii istotne jest nie tylko zróżnicowanie wartości średnich gradientów między poszczególnymi typami, ale także częstość występowania poszczególnych typów, którą prezentuje tabela 1.



Ryc. 2. Średnie wartości gradientów temperatury powietrza ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$) w poszczególnych skupieniach uzyskanych metodą k średnich, dla standardowych pór roku: A) w dolinie (1976-1980), B) na wierzchołku (1988-1997)

B

lata 1988-97



Tab. 1. Częstość występowania (w %) poszczególnych typów dziennego przebiegu gradientów w porach roku, w dolinie (1976-80) i na wierzcholinie (1988-97)

Pora roku	Typ przebiegu gradientów	1976-80	1988-97
		%	
Zima	Stabilny	46	38
	Pośredni (a)	33	36
	Pośredni (b)	7	12
	Dynamiczny	14	14
Wiosna	Stabilny	54	45
	Pośredni (a)	20	16
	Pośredni (b)	14	24
	Dynamiczny	12	15
Lato	Stabilny	35	33
	Pośredni (a)	37	15
	Pośredni (b)	19	28
	Pośredni (c)	-	13
	Dynamiczny	9	11
Jesień	Stabilny	45	40
	Pośredni (a)	25	15
	Pośredni (b)	14	22
	Pośredni (c)	-	12
	Dynamiczny	16	11

Porównanie typologii dziennego przebiegu gradientów dla dna doliny i wierzcholiny wskazuje, że nie ma uniwersalnych typów, które powtarzałyby się w różnych porach roku w danej formie terenu lub w obu formach terenu. Jeśli zestawić najwyższe wartości gradientów pojawiające się w poszczególnych porach roku w dynamicznych typach przebiegu gradientów w obu formach terenu, to okaże się, że zimą są one większe w dnie doliny, ale w pozostałej części roku – na wierzcholinie. Różnice te pojawiają się w godzinach porannych lub wieczornych, co prawdopodobnie jest skutkiem wpływu zasłonięcia horyzontu w dolinie, zorientowanej wzdłuż osi wschód-zachód. Powoduje to, że gdy na wierzcholinie już ujawnia się strumień ciepła jawnego w przygruntowej warstwie powietrza to w dnie doliny jeszcze trwa nagrzewanie podłoża. Występowanie przebiegów najbardziej zróżnicowanych i o największych wartościach gradientów jest związane z typami cyrkulacji atmosferycznej z

grupy sytuacji antycyklonalnych; przebiegi takie występują stosunkowo najrzadziej, zaś najczęstsze w obu formach terenu są przebiegi najmniej zróżnicowane, bliskie izotermii w ciągu całego dnia. W dnie doliny zimą i jesienią występują przebiegi z inwersją przez cały dzień, co nie zdarza się na wierzcholinie (Bokwa 2002).

Jak wspomniano wcześniej, określając wyniki końcowe zastosowania metod hierarchicznych, zazwyczaj analizuje się dendrogram przedstawiający przebieg skupiania. W przypadku danych dla Gaika-Brzezowej okazało się to jednak bardzo utrudnione z uwagi na duże rozmiary plików początkowych. Zamiast dendrogramu zanalizowano więc skład i liczebność skupień wygenerowanych przez obie metody, przy założeniach liczby skupień 4 i 5. Wybór takich liczb skupień podyktowany został wynikami uzyskanymi przy pomocy metody k średnich. Wyniki otrzymane metodą średnich ważonych połączeń okazały się nieprzydatne do analizy danych z Gaika-Brzezowej z punktu widzenia tworzenia typologii. Dla wszystkich plików, tak przy 4 jak też 5 skupieniach pojawiały się skupienia jedno- lub kilkuelementowe, przy czym obiekty je tworzące nie charakteryzowały się wartościami ekstremalnymi, jak to miało miejsce na początku stosowania metody k średnich, przeciwnie,

nie odbiegały od większości pozostałych pod względem wielkości gradientów. Takie wyniki są nieprzydatne do wyznaczania typów dziennego przebiegu gradientów, nie zostały więc przedstawione w niniejszej pracy. Natomiast wyniki uzyskane metodą minimalnej wariancji (Warda) okazały się znacznie bardziej przydatne i zostały porównane z wynikami otrzymanymi metodą k średnich. Analiza metodą k średnich udowodniła, że można porównywać pięciolecie 1976-80 dla dna doliny z całym dziesięcioleciem 1988-97 dla wierzchowiny, dlatego przy metodzie Warda wykonano obliczenia dla kalendarzowych pór roku tylko dla całych okresów 1976-80 i 1988-97, zaniechano obliczeń dla pięcioleci w okresie 1988-97.

Rezultaty uzyskane metodą Warda były bardzo podobne do tych uzyskanych metodą k średnich, jednak różnice w przypadku okresu zimowego zadecydowały, że ostatecznie zaakceptowano podział uzyskany metodą k średnich. Dla zimy metoda Warda wyróżnia skupienia w nieco mniejszym zakresie wartości niż metoda k średnich. Najprawdopodobniej jest to skutkiem mniejszego zróżnicowania liczebności skupień. Mimo, że zarówno metoda k średnich jak też metoda Warda dążą do tworzenia skupień o podobnej liczebności, to w metodzie k średnich skupienia najmniejsze, reprezentujące najbardziej zróżnicowany przebieg gradientów, mają mniejszą liczebność niż w metodzie Warda. Reprezentują one także bardziej zróżnicowane wartości gradientów niż w metodzie Warda, należy więc wnioskować, że w ich skład wchodzi tylko dni z wyraźnie ekstremalnymi wartościami gradientów, podczas gdy w metodzie Warda dążenie do równomiernego rozkładu liczebności skupień powoduje dodanie do skupienia z najbardziej ekstremalnymi przypadkami obserwacji tylko do nich zbliżonych. W rezultacie obliczone wartości średnie gradientów dla poszczególnych terminów są w metodzie Warda niższe. Oznacza to, że metoda k średnich kładzie większy nacisk na jak największe zróżnicowanie między skupieniami. Metodę k średnich należy więc uznać za bardziej przydatną do wyróżniania typów przebiegu dziennego gradientów w okresie zimowym. Oceniając przydatność metod analizy skupień przy rozwiązywaniu konkretnych problemów warto również zaznaczyć, że analiza skupień pozwala znaleźć najbardziej istotne z możliwych rozwiązań na tym etapie badań, kiedy nie ma żadnych z góry założonych hipotez. Z tego powodu nie stosuje się testów istotności statystycznej (Statistica 2004).

Ostatecznie, stosując metodę k średnich, w przypadku dna doliny uzyskano po 4 typy dziennego przebiegu gradientów w każdej porze roku, dla wierzchowiny zaś po 4 zimą i na wiosnę oraz po 5 latem i jesienią (por. Bokwa 2001b). Wyróżnione typy, po uzupełnieniu o informacje na temat liczby dni z pokrywą śnieżną, liczby dni z pogodą insolacyjną, struktury typów sytuacji synoptycznych według Niedźwiedzia oraz temperatur ekstremalnych, stały się podstawą typologii struktury termicznej przygruntowej warstwy powietrza (Bokwa 2000; Bokwa 2001a).

4. Podsumowanie

Analizę skupień można przeprowadzić wieloma metodami, ale wszystkie one nie zakładają żadnego kryterium przypisywania obiektów do grup. Jedynym wewnętrznym kryterium podziału jest matematycznie zdefiniowane podobieństwo

obiektów (Marek 1989). W przypadku analizowanych wartości gradientów oznacza to, że nie zakładamy z góry żadnych czynników determinujących ich przebieg dobowy; szukamy jedynie dni podobnych, a następnie staramy się sprecyzować dlaczego są podobne, co nie oznacza, że odpowiedzialne za to są w każdym przypadku te same czynniki. Postępujemy zatem odwrotnie niż zazwyczaj, kiedy to najpierw wybiera się dni do analizy (np. dni z pokrywą śnieżną), a następnie bada w nich przebieg jakiegoś elementu meteorologicznego szukając zależności od z góry przyjętego kryterium (czyli np. występowania dni z pokrywą śnieżną). W przypadku danych z Gaika-Brzezowej, każdy dzień był definiowany nie tylko zmiennymi (czyli wartościami gradientów), ale także dodatkowymi parametrami (występowanie pokrywy śnieżnej, występowanie pogody insolacyjnej, typ sytuacji synoptycznej wg Niedźwiedzia). Następnie badano w każdym skupieniu wpływ poszczególnych parametrów, np. wpływ cyrkulacji atmosferycznej (Bokwa 2001b).

Przystępując do analizy otrzymanych wyników przyjęto założenie, że wyróżnione w danym zbiorze danych typy przebiegu gradientów powinny jak najbardziej różnić się między sobą, i że powinno ich być jak najmniej z uwagi na niewielkie różnice w wartościach średnich gradientów z poszczególnych terminów pomiarowych. Ponadto istotna jest liczebność wyróżnionych skupień, reprezentujących kolejne typy przebiegu gradientów. Dla wierzchowiny pięciolecie 1988-92 prezentuje typy przebiegu gradientów bardzo zbliżone do typów przebiegu dla całego dziesięciolecia, natomiast pięciolecie 1993-97 jest od nich odmienne. Podobne tendencje występowały w statystykach opisowych dla gradientów (Bokwa 2000). Płyne stąd wniosek, że dane z okresu 1976-80 dla dna doliny należy traktować jako orientacyjne, i że prawdopodobnie wyniki z całego dziesięciolecia 1971-80 byłyby nieco inne. Niemniej jednak dane te można uznać za wystarczające do porównania z danymi z wierzchowiny oraz określenia wpływu rzeźby na dzienny przebieg gradientów temperatury, gdyż różnice między dwoma formami rzeźby (czyli danymi z okresu 1976-80 i jakimkolwiek okresem badawczym dla wierzchowiny) są większe niż między różnymi okresami badawczymi (pięcioletnimi i dziesięcioletnim) dla samej wierzchowiny (Bokwa 2000). Dane z całego dziesięciolecia 1988-97 dla wierzchowiny dla poszczególnych pór roku stanowią podstawę do wyróżnienia typów dziennego przebiegu gradientów termicznych

Podsumowując można stwierdzić, że obie metody, tzn. *k* średnich i Warda dają zbliżone rezultaty analizy przebiegu gradientów, ale w przypadku danych dla Gaika-Brzezowej bardziej przydatna jest metoda *k* średnich, pozwalająca wyodrębnić bardziej różnicowane skupienia niż metoda Warda.

Literatura

- Bednorz E., Kolendowicz L., Bielec-Bąkowska Z., Bokwa A., Żelazny M., Kicińska B., Lewik P., Nowosad M., Ustrnul Z., 2003, *Regionalizacje, typologie i wydzielanie sezonów klimatycznych z zastosowaniem analizy skupień*, *Przegl. Geofiz.*, XLVIII, 1-2, 9-30.
- Bokwa A., 2000, *Struktura termiczna przygruntowej warstwy powietrza na Pogórze Wielickim (na przykładzie Gaika-Brzezowej)*, Pr. dokt., mspis, Bibl. Jagiell., Kraków.

- Bokwa A., 2001a, *Cluster analysis as a method of typology of thermal conditions in the air layer near the ground*, Annales UMCS, sec. B, LV/LVI, 75-80.
- Bokwa A., 2001b, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na dzienny przebieg pionowych gradientów termicznych w przygruntowej warstwie powietrza*, Dok. Geogr., 23, 33-40.
- Bokwa A., 2002, *Typologia gradientów termicznych w przygruntowej warstwie powietrza*, Roczn. AR w Poznaniu, CCCXXXVIII, Melior. Inż. Środ., 22, 15-20.
- Gabała J., 2004, *Zastosowanie analizy skupień do wydzielenia kompleksów pogodowych sprzyjających wystąpieniu wysokich i niskich stężeń zanieczyszczeń w Tarnowie*, (niniejszy tom).
- German K., 1992, *Typy środowiska przyrodniczego w zachodniej części Pogórza Karpackiego*, Rozpr. Habil. UJ, 246, Uniw. Jagielloński, Kraków.
- Marek T., 1989, *Analiza skupień w badaniach empirycznych. Metody SAHN*, Warszawa, PWN, s. 171.
- Metody ilościowe i modele w geografii*, 1977, red. Z. Chojnicki, PWN, Warszawa.
- Metody taksonomiczne w geografii*, 1980, red. Z. Chojnicki, PAN Oddział w Poznaniu, ser. Geografia, V, PWN, Warszawa-Poznań.
- Obrębska-Starkłowa B., 1973, *Stosunki mezo- i mikroklimatyczne Szymbarku*, Dok. Geogr., 5, 123.
- Richling A., 1992, *Kompleksowa geografia fizyczna*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- SAS/STAT User's Guide. Version 6, Fourth Edition, vol. 1, 1989, Cary, N.C., SAS Inst. Inc.
- Statistica, 2004, Statsoft Inc., (<http://www.statsoft.com/textbook/stathome.html>)
- Woś A., 1995, *Zarys klimatu Polski*, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.

Anita Bokwa
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
Uniwersytet Jagielloński
Kraków

