Przegląd Geograficzny
2020, 92, 1, s. 93–107
https://doi.org/10.7163/PrzG.2020.1.6

Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania
Polska Akademia Nauk

https://www.igipz.pan.pl/przeglad-geograficzny.html

Uwarunkowania stosowania miar ilościowych w geografii fizycznej

The acceptability of application quantitative measures in physical geography

Andrzej Harasimiuk **Katarzyna Ostaszewska**

Uniwersytet Warszawski
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa
a.harasimiuk@uw.edu.pl

Zarys treści. Celem niniejszej pracy jest ukazanie zagrożeń płynących z nadmiernego zaufania do wiarygodności uogólnień uzyskanych na drodze stosowania miar ilościowych. W artykule dokonano egzemplifikacji problemów związanych ze stosowaniem metod ilościowych. Obecnie, w geografii fizycznej obowiązuje paradygmat ilościowego wyrażania wyników badań, który stwarza pozory absolutnej obiektywności. Realna przyroda nie jest abstrakcją i w swej różnorodności i złożoności stawia interpretacji liczbowej szereg warunków. Prawa przyrody realizują się w przestrzeni o nie do końca poznanej strukturze, przestrzeni niejednorodnej, innej niż w założeniach większości formuł fizycznych. Ta nieadekwatność stosowanych formuł i modeli do charakteru zjawisk i interpretacji przestrzennej jest powszechna, bowiem większość procedur milcząco zakłada badania w przestrzeni jednorodnej. Z racji niejednorodności przestrzeni, sezonowości i poligenetyczności, zjawiska badane w środowisku przyrodniczym[1] mają najczęściej wielomodalne (wielowierzchołkowe) rozkłady obserwowanych zmiennych. W takich uwarunkowaniach estymacja stanów średnich z rozkładów wartości zmiennych poprzez średnią arytmetyczną bywa niewłaściwa i pozostaje w opozycji do podstawowej właściwości krajobrazu jaką jest zróżnicowanie regionalne. W wyniku prostego uśrednienia jako reprezentatywne mogą być przyjmowane stany (wartości zmiennych), które w przyrodzie są rzadko spotykane lub wykluczone. Przy formułowaniu uogólnień na podstawie średnich reprezentujących zróżnicowane wielkościowo fragmenty obiektów przyrodniczych powinny być stosowane średnie ważone (jest to szczególnie ważne przy bilansowaniu obiegu substancji). W artykule, poza krytyką bezrefleksyjnego stosowania narzędzi statystycznych, wskazano niektóre możliwości reinterpretacji miar statystycznych po rozdzieleniu danych na podgrupy reprezentujące określone fragmenty przestrzeni lub kategorie zjawisk, ułatwiając tym samym podjęcie prób wyjaśnień genetycznych. Bez świadomości właściwości badanej struktury rozbudowane wyrażenia statystyczne nic nie wnoszą do analizy struktury badanego obiektu, tym bardziej, o rozumieniu zasad jego funkcjonowania. Istotą postępu w nauce jest bowiem zwiększenie zakresu rozumienia zjawisk, a nie szczegółowość ich opisu.

Słowa kluczowe: krajobraz, metody ilościowe, przestrzeń jednorodna i niejednorodna.

[1] Autorzy zdają sobie sprawę, że termin *środowisko przyrodnicze* wywoływał krytyczne uwagi, jednakże w kontekście omawianych zagadnień widzą jego użyteczność jako terminu określającego przedmiot badań geografii fizycznej. Termin *krajobraz* nie uzyskał statusu mogącego obejmować ogół zagadnień z geografii fizycznej, w niniejszej pracy krajobraz przedstawiany jest w jego ujęciu materialno-energetycznym.

Wstęp

O standardzie wiedzy naukowej decyduje jej pewność i ścisłość, a także ogólność, wysoka zawartość informacji i prostota (Chojnicki, 1999). W tym kontekście stosowanie miar ilościowych w badaniach krajobrazu (i szerzej geografii fizycznej) jawi się jako skuteczna metoda podniesienia statusu metodologicznego dyscypliny naukowej. Stosowaniu miar ilościowych sprzyja także powszechna dostępność zaawansowanych narzędzi analizy statystycznej, przyrost informacji pochodzących z badań terenowych, systemów monitoringu i danych teledetekcyjnych. W założeniach, mają one za zadanie zapewnienie pewnej obiektywizacji wyników badań. Warto jednak podkreślić, że postęp w zakresie analizy danych, sam w sobie nie musi prowadzić do lepszego wyjaśnienia procesów krajobrazowych. Istotą postępu w nauce jest bowiem zwiększenie zakresu rozumienia zjawisk, a nie szczegółowości ich opisu.

Na konieczność pewnej refleksji przy posługiwaniu się analizą statystyczną wskazywano od dawna (Gehlke i Biehl, 1934). Ze względu na różne przedmioty badań i aparat metodyczny w geografii fizycznej i społeczno-ekonomicznej zwracano uwagę na nieco inne problemy. W geografii społeczno-ekonomicznej, korzystającej często z gotowych baz danych, obserwowano problem wpływu sposobu agregowania danych w jednostki przestrzenne na dane analityczne (przepisy zabraniają publikowania danych na poziomie indywidualnym). Okazywało się, że wyniki z danych zagregowanych są wrażliwe na problem wielkości jednostek przestrzennych. Poziomy agregacji, a także arbitralne, modyfikowane rozmiary, kształty i układy stref wpływały na wiarygodność ustaleń wynikających z analizy danych (Nelson i Brewer, 2017).

W geografii fizycznej problem agregacji danych nie jest na ogół dostrzegany, gdyż agregacja następuje (prawie naturalnie i automatycznie) w obrębie jednostek podziału fizycznogeograficznego (regiony, zlewnie, strefy, piętra itp.). Problemem może być natomiast odstąpienie od dezagregacji dużych, wieloregionalnych zbiorów danych (na jednostki przestrzenne lub stany charakterystyczne) i odnoszenie wyników do przestrzeni ciągłej (homogenicznej), pomimo iż istotą badania geograficznego jest wyodrębnienie różnic przestrzennych (regionalnych). Podkreśla się, że wspólną, dla obydwu nurtów geografii, przyczyną trudności w realizacji badań terenowych bywa wybór nieodpowiedniej skali przestrzennej w stosunku do badanych zależności (Mark, 1980; Mark i Aronson, 1984; Lee i inni, 2014). Nawet przy prostym obliczaniu wskaźników korelacji badacz powinien mieć świadomość wpływu sposobu grupowania danych na wyniki (Gehlke i Biehl, 1934; Nelson i Brewer, 2017).

Wydaje się, że obecnie mamy bardziej bezkrytyczny stosunek do formuł statystycznych niż prawie 100 lat temu. Dzieje się tak pomimo świadomości odmienności metod w analizie ilościowej i jakościowej. Zwolennicy czystości metodologicznej opowiadają się za stosowaniem odmiennych procedur w obu kategoriach. Uważają, że badacze, którzy stosują ilościowe lub jakościowe podejście do badań, reprezentują różne sposoby postrzegania świata (Onwuegbuzie i Leech, 2005). Ci sami autorzy twierdzą, że wybór metodologii badań powinien być uzależniony od natury stawianych pytań badawczych. Z drugiej strony tzw. pragmatycy opowiadają się za integracją różnych metod (Creswell, 1994), stwierdzając, że badacz może wykorzystać mocne strony obu koncepcji – ilościowej i jakościowej – jeśli prowadzi to do lepszego zrozumienia zjawisk (Sieber, 1973). Dla

pragmatyków metodologie badawcze są jedynie narzędziami, których celem jest pomoc w zrozumieniu świata (Miles i Huberman, 2000). O ile można dyskutować o korzyściach wynikających z obydwu podejść, to na pewno można sformułować postulat świadomego stosowania metod ze szczególnym uwzględnieniem ich ograniczeń i zagrożeń w procesie wnioskowania.

Dążenie do uogólnień, na podstawie obróbki statystycznej, dużych zbiorów danych, bez świadomości ograniczeń wynikających ze specyfiki obiektu badań może prowadzić do błędnych hipotez lub przypisania stwierdzonym zależnościom nazbyt uniwersalnego charakteru. W tym kontekście, celem niniejszej pracy jest ukazanie zagrożeń płynących z nadmiernego zaufania do wiarygodności uogólnień uzyskanych na drodze stosowania miar ilościowych.

Problemy związane z pobieraniem prób

Pobieranie prób jest pierwszym etapem gromadzenia danych ilościowych. Podstawowym zadaniem tej procedury jest zapewnienie jak największej reprezentatywności w stosunku do badanych obiektów i zjawisk. Niestety, nie ma narzędzia pozwalającego na pełną weryfikację tej reprezentatywności. Gdyby była taka możliwość, oznaczałoby to osiągnięcie pierwotnego poziomu rozpoznania, przy którym pobieranie prób nie wnosiłoby żadnej dodatkowej, istotnej informacji. Problem reprezentatywności prób w stosunku do populacji generalnej, w swej istocie, jest nierozwiązywalny. Jeżeli założymy, że próby powinny odzwierciedlać proporcje udziałów w populacji generalnej, to praktyczne sprawdzenie tego założenia wymagałoby znajomości rozkładu danego parametru w populacji generalnej, a w tej sytuacji – nie potrzebowalibyśmy żadnego próbkowania. Losowanie warstwowe, mające uwzględniać strukturę populacji generalnej, wykorzystujemy gdy badamy dany parametr na tle innych cech, których rozkład w populacji generalnej jest nam znany np. badanie dochodów ludności w zależności od wieku. Staramy się wtedy wylosować do badania osoby według proporcji wiekowych charakterystycznych dla całej populacji. Zakładając, że wiek jest jedyną zmienną wpływającą na dochody średnia z próby byłaby zgodna ze średnią z populacji generalnej. Jednakże, gdy wpływ na dochody mają inne zmienne (płeć, poziom wykształcenia itp.), to średnia z próby nie musi się zgadzać ze średnią z populacji generalnej. Wzięcie pod uwagę rozszerzonego zestawu zmiennych niezależnych powodowałoby konieczność kolejnego losowania warstwowego. Mielibyśmy więc do czynienia z tendencją przechodzenia próby w populację generalną. W przypadku badań środowiska przyrodniczego jako zmienna niezależna bardzo często występuje wysokość nad poziom morza. Na jej tle rozpatruje się szereg zmiennych zależnych np. formacje roślinne. W przypadku układów regionalnych (np. zmienność roślinności w Tatrach) takie sformułowanie zależności jest wystarczające, jednakże w układzie globalnym wymaga już rozszerzenia o szerokość geograficzną i kolejne zmienne (odległość od morza, efekty masywu itp.). W geografii fizycznej trudno jest wytypować komponent mogący spełniać rolę wiodącej zmiennej niezależnej. Wydaje się, że w mezoskali mogłaby to być rzeźba terenu, stanowiąca bazę do prowadzenia granic jednostek przestrzennych. Takie podejście jest często stosowane, ponieważ przy projektowaniu badań lokalizujemy miejsca pobierania prób zgodnie z układem form rzeźby. Jest to swoisty analog do próbkowania warstwowego.

Ograniczenia wynikające ze specyfiki przedmiotu badań

Można zauważyć, że testy statystyczne są procedurą zakładającą równą wiarygodność wszystkich elementów próby, traktując je jako wyrażoną liczbowo matematyczną abstrakcję badanych zjawisk. Dla badacza danego procesu wyrażenie liczbowe jest reprezentacją pewnego stanu (w geografii fizycznej stanu lub zjawiska przyrody, z ich fizycznym lub chemicznym wyrazem), który nie powinien przekształcić się w abstrakcję wyrażoną przez liczby. Nie da się np. abstrahować od stanów skupienia badając wpływ dostawy ciepła na wzrost temperatury wody w układzie zamkniętym (nie można ekstrapolować zależności stwierdzonych dla fazy ciekłej na fazę stałą lub gazową). Dlatego też potrzebna jest fizyczna znajomość analizowanych obiektów oraz określenie warunków, w których są spełniane wykryte przez badacza zależności. Niestety dążenie do matematycznej kwantyfikacji odkrytych zależności, coraz częściej prowadzi do pozostawania na etapie samego wyrażenia matematycznego, bez prób wyjaśnienia istoty funkcjonowania badanego obiektu, określenia jego stanu lub stadium rozwojowego.

Przyrodę badaną przez geografa fizycznego wyróżnia niepowtarzalność w czasie i przestrzeni, stanowiąca o wyraźnej odrębności metodologicznej dyscypliny w stosunku do innych nauk przyrodniczych. W biologii zapewnienie (pewnej) powtarzalności obiektów realizuje się na poziomie gatunku. W fizyce i chemii wymóg powtarzalności jest jeszcze dalej posunięty i stanowi jeden z warunków obiektywności uzyskiwanych wyników. W tym ostatnim przypadku ma miejsce duża idealizacja, wyrażająca się poprzez przyjmowanie, niekiedy niespełnialnych, założeń, jak np. idealna próżnia, brak strat cieplnych, brak tarcia itp. Formuły matematyczne, wyrażające prawa naukowe, zawierają wiele stałych i współczynników, które same w sobie mogą być równie istotne, co zawierająca je formuła. Może dlatego, idealistyczne prawa zapożyczone z fizyki, chemii, nie są wprost implementowane do wyjaśnienia faktów badanych przez nauki o Ziemi (geografię krajobrazu, ekologię krajobrazu, geochemię; por. Ostaszewska 2002, s. 266–267). Dobrą ilustracją analizowanego zagadnienia (zmienności i niepowtarzalności warunków badań) są dane zestawione przez M. Czarnowskiego (1989), ukazujące zmienność stężeń podstawowych pierwiastków w 9 próbkach gleb pobranych w promieniu 1 m, na dwu różnych rodzajach podłoża (tab. 1). Rozpiętość wyników dla tego samego pierwiastka, na tym samym podłożu, w tak małej przestrzeni sięga trzykrotności (średnio 1,5-krotność) pomiędzy wartością minimalną a maksymalną. Dodajmy jeszcze naturalną zmienność w pionie (poziomy genetyczne gleb), by w pełni zdać sobie sprawę z niejednorodności przestrzeni, w której operuje geograf fizyczny. Dążąc do poprawnego formułowania uogólnień, w geografii fizycznej musimy pamiętać o tej formalnej „niedoskonałości" przedmiotu badań. Przestrzeń, w której

Tabela 1. Zmienność właściwości chemicznych gleb w próbkach pobranych w promieniu 1 m
Variability to the chemical properties of soils in samples taken within a radius of 1 m

Rodzaj podłoża	Maksymalny stosunek największej do najmniejszej charakterystyki dla:		
	P	Ca	Mg
Glina pylasta	1,4	3,0	1,5
Piasek	1,4	1,1	1,5

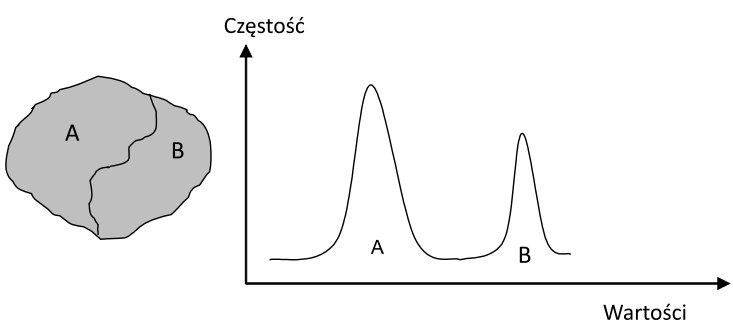
Opracowane własne na podstawie Czarnowski (1989) / *Author's own elaboration based on Czarnowski (1989).*

pracuje geograf fizyczny, pod względem zmienności i zdeterminowania wyników przez tę zmienność, jest dużo większym wyzwaniem niż idealna przestrzeń matematyczna. Konsekwencje takiego stanu będą przedmiotem rozważań w dalszej części pracy.

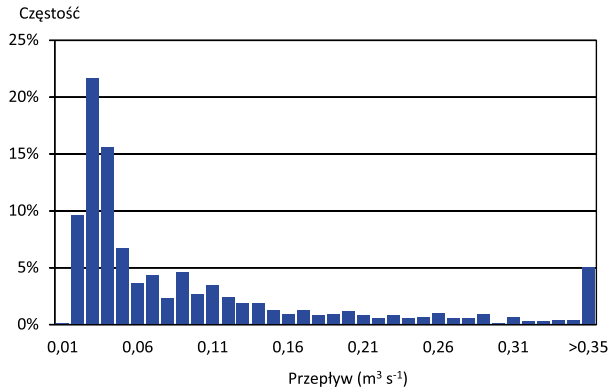
Wartość średnia – reprezentacja czy fikcja?

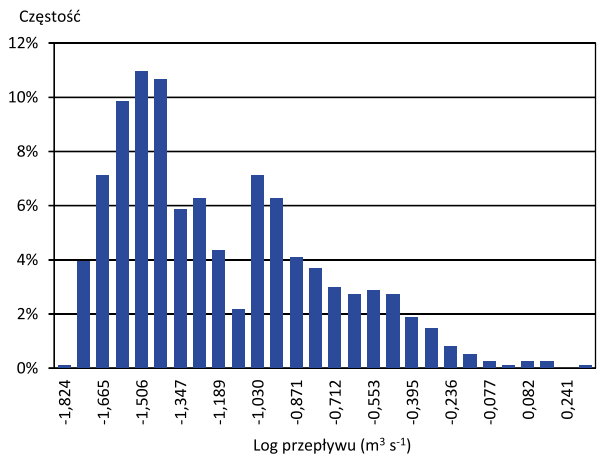
Podobnie jak w innych naukach przyrodniczych, w geografii fizycznej rezultatem przeprowadzonych obserwacji i pomiarów terenowych jest zbiór surowych danych, które są przetwarzane z użyciem analizy statystycznej. Najprostsze obliczenia dotyczą określenia wartości średniej badanej cechy. Przy obliczaniu tego parametru milcząco zakłada się, że badane zjawisko ma rozkład normalny. Jest to własność charakterystyczna dla zjawisk powtarzalnych w ściśle określonych warunkach i z przypadkowością odchyleń od wartości rzeczywistej. Przykładem jest seria wyników oznaczenia określonego pierwiastka tej samej próby na tym samym instrumencie pomiarowym. Badając zjawiska naturalne, poprzez zestawienie ich reprezentacji dla różnych środowisk (regionów, typów itp.), z mocy samych uwarunkowań przyrodniczych, musimy odrzucić założenie o rozkładzie normalnym tak wygenerowanego ogólnego zbioru danych. Ilościowe wyrażenia zjawisk naturalnych, nawet reprezentujące tylko jeden proces z jednego punktu pomiarowego, nie mają najczęściej rozkładu normalnego tylko rozkład logarytmiczno-normalny.

Konsekwencją przyjęcia niewłaściwego założenia dotyczącego rozkładu zmiennych jest brak koincydencji pomiędzy średnią arytmetyczną a wartością modalną (przedziałem modalnym; ryc. 1). W praktyce najczęściej, bezrefleksyjnie jako estymator wartości średniej przyjmujemy średnią arytmetyczną, choć w pewnych przypadkach rozróżnienie pomiędzy średnią arytmetyczną i wartością modalną (przedziałem modalnym) może to być bardzo istotne. Rozwiązaniem problemu wynikającego ze skośności rozkładu może być zlogarytmowanie danych, które powinno uczynić je zbliżonymi do rozkładu normalnego. Jednak w niektórych sytuacjach po zlogarytmowaniu rozkład nadal jest asymetryczny (ryc. 2). Tak więc, w przypadku zmiennych środowiskowych, stosowanie nawet najprostszych miar statystycznych może być oparte na fałszywych założeniach, czasami nieuświadomionych, czasami przemilczanych.



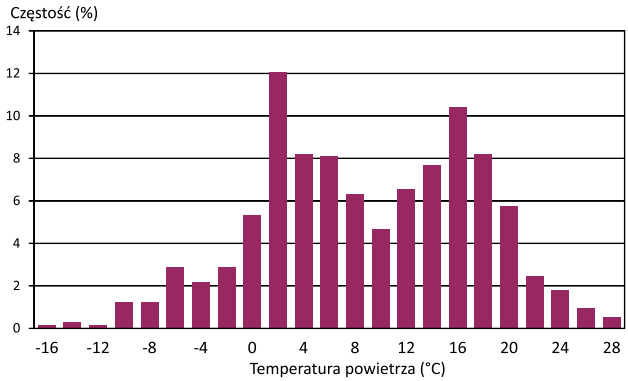
Ryc. 1. Rozkład wielowierzchołkowy jako konsekwencja heterogeniczności przedmiotu badań oraz możliwa pozycja średniej arytmetycznej (nie reprezentującej stanów rzeczywistych)
A multi-peak distribution reflecting the heterogeneity of the object of research, as well as the possible position of an arithmetic mean that does not represent real states at all





Ryc. 2. Rozkład odbiegający od normalnego na przykładzie odpływu rzecznego – zlewnia Olszanki (g. Wilga). Najwyższe częstości (40%): 0,02–0,04 $m^3 s^{-1}$; średni przepływ 0,11 $m^3 s^{-1}$
Example of a non-normal distribution: river runoff – Olszanka catchment (Wilga) IMGW data from 1993–1994. Highest frequencies (40%): 0.02–0.04 $m^3 s^{-1}$; mean discharge: 0.11 $m^3 s^{-1}$
Opracowanie własne na podstawie danych z IMGW (1993–1994)
Authors' own elaboration based on IMGW data (1993–1994).

Problemem wynikającym z niejednorodności przedmiotu badań są rozkłady zmiennych o charakterze wielowierzchołkowym (wielomodalnym). Zwykle świadczą one o istnieniu podpopulacji w obrębie badanej próby. Jeśli podpopulacje (np. dane dotyczące dwóch różnych regionów) są ze sobą zagregowane, uzyskana z nich średnia może odbiegać od zakresu występowania danego zjawiska, przez co staje się bezużyteczna jako przybliżenie cech badanego zbioru danych (ryc. 1 i 3). W takiej sytuacji obliczenie średniej nie ma większego sensu, bo nie wiadomo, które wyniki jednostkowe przynależą do poszczególnych podgrup (będąc ich reprezentantami), średnia zaś reprezentuje wartości spoza zakresu występującego w przyrodzie lub rzadko spotykane. Dlatego niezwykle ważna jest znajomość podziału obszaru badań na jednostki przestrzenne (geokompleksy, typy krajobrazu, regiony itp.), które mogą stanowić podstawę podziału ogólnego zbioru danych na w miarę jednorodne podpopulacje. Powyższe zastrzeżenia dotyczą w szczególności roz-

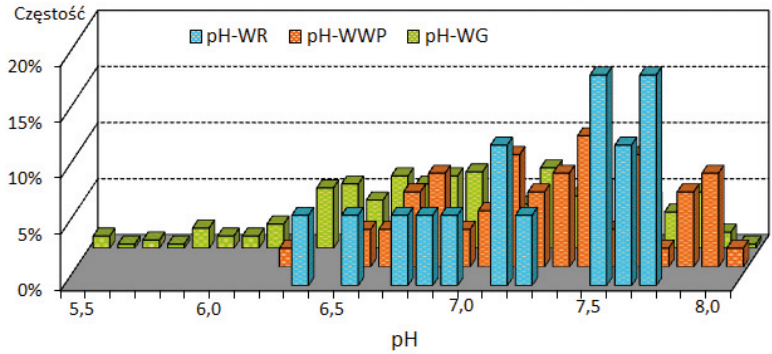


Ryc. 3. Rozkład średniej dobowej temperatury powietrza na stacji Jarczew; temperatura średnia (liczona z temperatur dobowych): 7,8°C
Distribution of air temperature at the Jarczew station; mean temperature (calculated from daily temperatures): 7.8°C

kładów o charakterze dyskretnym. Nie wyobrażamy sobie bowiem charakteryzowania zjawisk o charakterze nieciągłym przez średnią arytmetyczną (na przykład moglibyśmy wtedy stwierdzić, że stawonogi mają średnio np. 3,874 par odnóży). Ten wymyślony, posunięty *ad absurdum* przykład unaocznia częste oderwanie badacza od rozumienia badanego zjawiska. Problemem pozostaje weryfikacja stwierdzeń wynikających z analizy statystycznej i niekiedy ich niezgodności z wynikami prostej obserwacji (choć oczywiście wynik badania naukowego może obalać założenia tzw. wiedzy potocznej). Odwołując się do przykładu, załóżmy, że badając przydatność określonego obszaru podzielonego na przestrzenne jednostki podstawowe oceny stwierdzamy, że połowa reprezentuje wysoką przydatność a druga połowa jest w ogóle nieprzydatna (wykluczona) dla badanej działalności. Ogólnie otrzymamy dla całości wynik średniej przydatności, pomimo tego, że zlokalizowanie działalności na połowie obszaru będzie w ogóle niecelowe lub niemożliwe.

To co stanowi utrudnienie w formułowaniu poprawnych wniosków na podstawie populacji generalnej, po jej odpowiednim podziale na podpopulacje (podgrupy) może być pomocne w formułowaniu wiarygodnych prawidłowości. Rozkłady wielomodalne można wykorzystać jako użyteczne narzędzie, pozwalające na wyjaśnienia genetyczne. Przykład takiej zależności pokazano na rycinie 4, obrazującym chemizm rożnych kategorii wód w zlewni. Wody rzeczne są zasilane przez wody gruntowe i wody wgłębne. Określenie zbieżności rozkładów częstości badanego parametru wód rzecznych (w tym przypadku – pH) z określoną kategorią wód zasilających, pozwala na przypisanie wodom wgłębnym przewodniej roli w zasilaniu wód rzecznych (Harasimiuk, 1997). Analiza wielomodalności może być także pomocna w dokonaniu podziału badanego zbioru na względnie jednorodne podzbiory, odpowiadające jednostkom przestrzennym lub stanom charakterystycznym, dla których analiza z uwzględnieniem rozkładu normalnego będzie formalnie poprawna.

Istotną okolicznością w badaniach krajobrazu jest wykonywanie każdego pomiaru w innych, niepowtarzalnych warunkach, reprezentując przez to wycinki przestrzeni o zmiennej wielkości lub różnej masie badanej materii. Stosowanie w takiej sytuacji średniej arytmetycznej może prowadzić wprost do niepoprawnych wyników. Świadomość tego typu uwarunkowań jest wysoka i zamiast średniej arytmetycznej stosuje się wtedy średnią ważoną.



Ryc. 4. Przykład wykorzystania rozkładów wielomodalnych w wyjaśnieniach poligenetyczności wód – pH wód w zlewni Olszanki; WR – wody rzeczne, WWP – wody wgłębne, WG – wody gruntowe
Example of the use of multimodal distributions in explaining the polygeneticism of waters – pH of waters in the Olszanka catchment
Źródło/Source: Harasimiuk (1997).

Różnice wartości średniej ważonej i arytmetycznej mogą sięgać 2–3-krotności wyników (tab. 2). Są to wartości wielokrotnie przekraczające wielkość błędów laboratoryjnych.

Osobną kwestią są średnie liczone z parametrów o charakterze logarytmicznym. Ich przykładem jest skala pH. Trzeba pamiętać, że zmiana o jednostkę w „dolnej" części tej

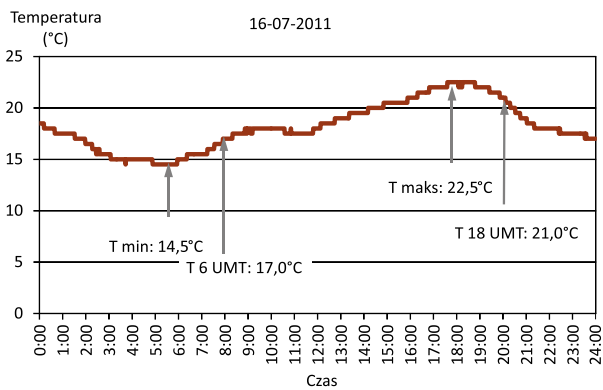
Tabela 2. Rozbieżność pomiędzy średnią arytmetyczna i średnią ważoną określenia średniego stężenia miesięcznego Ca i Mg w wodzie opadowej – stacja Jarczew; w stosunku do pH różnicę wyrażono w skali logarytmicznej
Disparity between the arithmetic mean and the weighted average determining the mean monthly concentration of Ca and Mg in rainwater – Jarczew station; in relation to pH the difference is expressed on a logarithmic scale

Data	Opady (mm)	pH	Ca (mg dm^{-3})	Mg (mg dm^{-3})
1992-09-01	5,7	5,18	0,35	0,04
1992-09-02	2,0	6,34	0,41	0,09
1992-09-04	13,5	4,52	0,20	0,02
1992-09-05	11,8	4,13	0,20	0,03
1992-09-06	52,8	5,42	0,07	0,01
1992-09-07	14,8	5,06	0,06	0,01
1992-09-08	1,3	4,19	0,42	0,08
1992-09-14	12,8	4,34	0,12	0,02
1992-09-15	1,0	4,74	0,28	0,04
1992-09-16	0,9	4,41	0,86	0,15
wrzesień 1992	116,6			
średnia arytmetyczna		4,83	0,297	0,049
średnia ważona lub z depozycji		4,69	0,134	0,019
różnica pomiędzy średnimi		5,25	0,163	0,030

Opracowanie własne na podstawie danych z IMGW / *Authors' own elaboration based on IMGW data.*

skali oznacza wielokrotnie większą bezwzględną różnicę stężenia H^+ niż zmiana o jednostkę w „górnej" części. I tak na przykład, różnica stężenia jonu wodoru między roztworami o pH 3 i 4 (gdy pH zmienia się o 1 jednostkę) jest dziewięciokrotnie większa niż między roztworami o pH 4 i 14 (gdy pH zmienia się o 10 jednostek). Warto o tym pamiętać, opracowując skale bonitacyjne, wykonując interpolację i operacje na współczynniku pH i innych o podobnych założeniach.

Powyższe zależności dotyczą także uśredniania wartości pozyskiwanych z różną częstotliwością. Mówiąc o średniej temperaturze dobowej, spodziewamy się, że powinna ona być wyrażona przez całkę przebiegu temperatury podzieloną przez czas. W praktyce średnią temperaturę dobową definiuje się na kilka sposobów, z wykorzystaniem 24, 8 lub 4 pomiarów w ciągu doby (Kurowska-Łazarz i inni, 2015). Ostatni sposób polega na obliczeniu średniej arytmetycznej z temperatur: maksymalnej, minimalnej, pomierzonej o godzinie 6 GMT i o godzinie 18 GMT. Zestawienie tak uzyskiwanych wyników z pomiarem quasi-ciągłym (temperatury mierzone co minutę) pokazano na rycinie 5. Jak widać, wartość średniej z 4 pomiarów odbiega od wartości, które można przyjąć jako wartości rzeczywiste (tj. te z pomiaru co minutę). Błąd pomiaru wynosi około 0,5°C, co samo w sobie nie jest wartością dużą, ale skłania do pewnej refleksji.



Temperatura średnia dobowa (°C)		Błąd
mierzona co 1 min	18,20	–
z 4 pomiarów: $(T_{maks} + T_{min} + T_{6UMT} + T_{18UMT})/4$	18,75	0,55
z 8 pomiarów	18,23	0,03
z 24 pomiarów	18,18	0,02

Ryc. 5. Zestawienie wyników otrzymanych w wyniku zastosowania różnych metod obliczania średniej temperatury dobowej
Summary of results obtained as a result of using various methods to calculate the mean 24-hour temperature

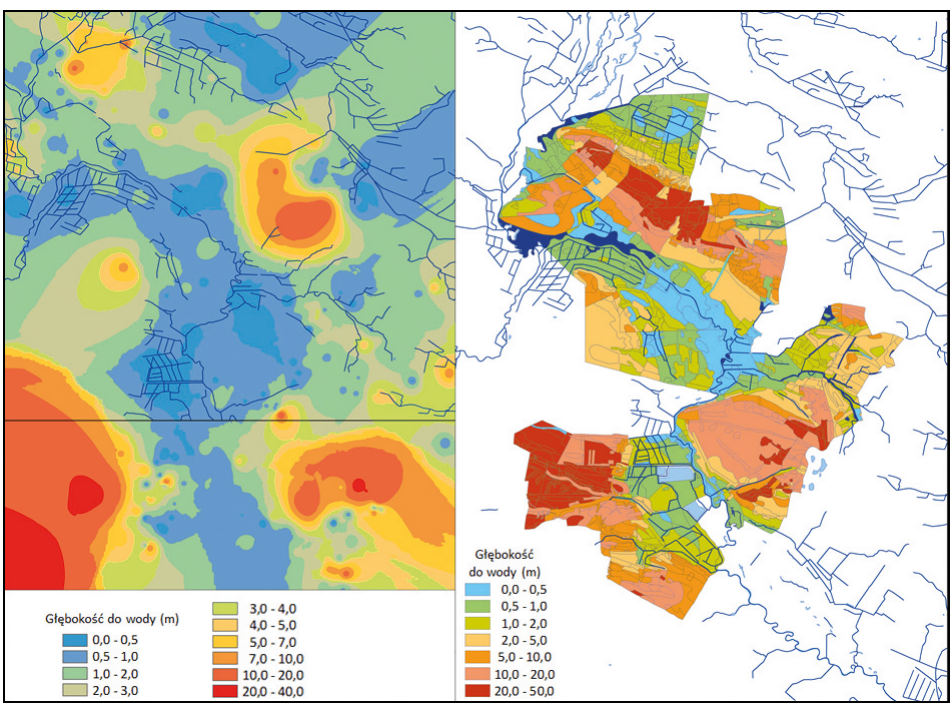
Niejednorodność przestrzenna – przestrzeń ciągła czy dyskretna?

Na etapie dochodzenia do uogólnień przestrzenna nieciągłość (niejednorodność, niehomogeniczność) przedmiotu badań jest ogromną przeszkodą w tworzeniu wiarygodnych

uogólnień na temat krajobrazu (środowiska przyrodniczego). Wymagają one bowiem pewnego abstrahowania od tej właściwości. Formalnie najprostsze byłoby przyjęcie założenia o przestrzeni jednorodnej ułatwiając stosowanie gotowych algorytmów. Z praktyki badawczej wiadomo jednak, że podział terenu badań na jednostki przestrzenne o pewnej (wewnętrznej) spójności i jednorodności (typy krajobrazu, regiony) stanowi lepsze przybliżenie do warunków rzeczywistych. W obrębie tak wyróżnionych jednostek spełnione są kryteria relatywnej wewnętrznej jednorodności, a przypisane im parametry i prawidłowości stanowią stany charakterystyczne (reprezentatywne).

Różnice w przestrzennych zobrazowaniach problemu niehomogeniczności przedmiotu badań ukazano na rycinie 6. Przedstawia on mapy głębokości do wody gruntowej, opracowane na podstawie tego samego zbioru danych, ale wychodzące z różnych założeń na temat przestrzeni. Do założeń o przestrzeni jednorodnej zastosowano prostą interpolację i taki obraz wygenerowano, zaś do zobrazowania przestrzeni niejednorodnej zastosowano geokompleksy. Analiza obrazów wskazuje, że:

1. ocena wiarygodności obrazu uzyskanego w drodze interpolacji (z założeniem przestrzeni homogenicznej) jest trudniejsza, bo niewidoczne są błędy i nieprawidłowości; choć pod względem matematycznym i w ramach przyjętego modelu interpolacyjnego obraz jest „bezbłędny”;



Ryc. 6. Obrazy rozkładu przestrzennego głębokości do wody gruntowej uzyskane dla przestrzeni jednorodnej i niejednorodnej (geokompleksy)
Depictions of the spatial distribution of depth to groundwater obtained in respect of homogeneous and heterogeneous space (geocomplexes)
Opracowanie własne na podstawie materiałów z praktyk studenckich w okolicach Pińczowa
Authors' own elaboration based on student field studies around Pińczów.

2. waga ewentualnych nieprawdziwych danych wejściowych (analitycznych) jest większa w przypadku obrazu uzyskanego metodą interpolacji, ponieważ pozostają one ukryte, a przy dużym odstępstwie od wartości rzeczywistych mogą wpływać na znaczny wycinek przestrzeni i poprzez ekstrapolację wykraczać poza obszary z siecią punktów pomiarowych; w przypadku obrazu bazującego na geokompleksach błąd jest łatwo dostrzegalny i nie sięga poza charakteryzowane jednostki;
3. w przypadku mapy bazującej na geokompleksach dużą wartość informacyjną ma sąsiedztwo jednostek – widoczne są dysonanse i anomalie, których źródłem mogą być odmienne cechy sąsiadujących jednostek lub nieprawidłowe dane (mamy niedwuznaczną sugestię, że obszary te wymagają powtórnego sprawdzenia);
4. obraz interpolacyjny wymaga mniejszej liczby punktów z danymi pomiarowymi, a w obrazie z geokompleksami każdej jednostce musi być przypisany choćby jeden punkt pomiarowy.

Z formalnego punktu widzenia, obrazy interpolowane powinny być ograniczone do wnętrza względnie jednorodnych jednostek (pól podstawowych), w których mogą obowiązywać pewne modele rozkładu przestrzennego oparte na właściwościach fizycznych i chemicznych badanych zjawisk. Z drugiej strony, niezależnie od wiarygodności tak uzyskanej informacji, obrazy interpolowane zaspokajają naszą ciekawość tego, co pozostałoby nieznane jako wykraczające wprost poza badane przypadki jednostkowe.

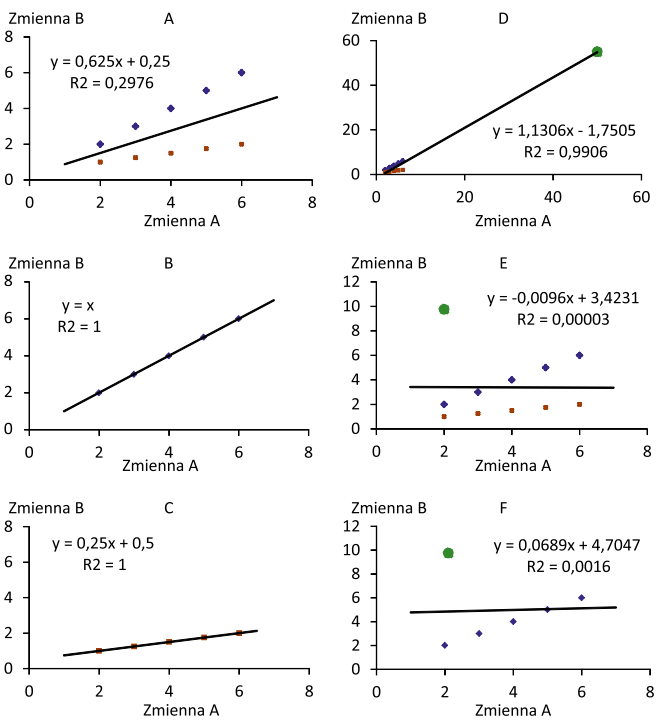
Niejednorodność przestrzenna – ograniczenia w analizie korelacji

Heterogeniczność przedmiotu badań (środowiska przyrodniczego) jest rzadko uwzględniana w analizie regresji (korelacji). Najczęściej zbiór danych traktuje się jako jednolity (homogeniczny). Brakuje prostych podziałów analizowanych zbiorów punktów reprezentujących różne położenia w przestrzeni na podgrupy uwzględniające różnice w położeniu (regionalizmy) lub różnice w klasie analizowanych środowisk (zróżnicowanie typologiczne). Podział pierwotnego zbioru danych na względnie homogeniczne podzbiory, z ich własnymi zależnościami korelacyjnymi wydaje się być prosty, lecz jest rzadko stosowany. Przyczyn takiego stanu rzeczy upatrywać można w: intuicyjnym charakterze samej procedury podziału (wyłączając procedury sformalizowane), niechęci do zmniejszania liczebności analizowanych populacji czy niechęci do poddania weryfikacji procedury z elementem arbitralnej decyzji. Na tym tle, pozytywnie należy ocenić przypadki, analiz przeprowadzonych *ex post*, analiz reszt z regresji, stosowanie analizy skupień (*cluster analysis*) nawet wtedy gdy są one przeprowadzone w oderwaniu od zależności genetycznych.

Zagadnienia wpływu istnienia podpopulacji w obrębie populacji generalnej zostały zilustrowane na rycinie 7. Wyodrębnienie podpopulacji może wiązać się ze zwiększeniem korelacji pomiędzy badanymi zmiennymi (ryc. 7. A-C). Warto również pamiętać o wpływie wartości ekstremalnych na znaczący wzrost wartości współczynnika korelacji. Na rycinie 7.D przedstawiono przypadek, w którym do słabo skorelowanych zależności (ryc. 7A) dołączono nowy punkt znacząco odbiegający od istniejącego zbioru danych, ale współbieżny z obserwowaną tendencją. W konsekwencji współczynnik korelacji wzrósł z poziomu 0,55 do prawie 1,0 (współczynnik determinacji z 0,30 do 0,9906). W przypadku dodania nowego punktu przeciwstawnego do tendencji obserwowanych w analizowanym zbiorze danych (ryc. 7E i 7F) – na nowo obliczone współczynniki korelacji spadają prawie do zera,

nawet w pierwotnie zupełnie skorelowanym zbiorze danych (ryc. 7.F). Widać, że pojedyncze przypadki mogą mieć znaczny wpływ na wartość matematycznego wyrażenia zależności. Gdyby dodatkowe punkty były przypadkami w analizie laboratoryjnej pojedynczej próbki to można by je było traktować jako błędy grube i odrzucić z analizy. W przypadku badań środowiskowych nie mamy narzędzi do przeprowadzenia takiej procedury, gdyż te ekstremalne przypadki mogą reprezentować odmienne warunki (o której to odmienności niekoniecznie wiemy przed badaniem). Ta odmienność może się wiązać z odrębnością regionalną i nie można jej odrzucić. Może też reprezentować pewne znaczące anomalie, których stwierdzenie w badaniu może być celem badań lub ważnym osiągnięciem. Rozstrzygniecie powyższych wątpliwości powinno się wiązać z kolejnym badaniem dążącym do weryfikacji formułowanych na bieżąco hipotez.

Odrębnym zagadnieniem w analizie regresji jest skupianie się na wartości współczynnika korelacji z pominięciem kąta nachylenia linii regresji do osi współrzędnych. Możliwe są przypadki wysokich współczynników korelacji przy linii regresji położonych niemal równolegle do jednej z osi. Ze względu na błędy przypadkowe pomiarów, punkty takie (nie leżące wprost na równoległych do osi), mimo wszystko, umożliwią formalne przepro-



Ryc. 7. Przykłady interpretacji analizy regresji z uwzględnieniem podziału w obrębie grupy niejednorodnej (B, C – jednorodne podgrupy z wysokimi współczynnikami korelacji; D – wpływ dodania ekstremalnej wartości w obrębie nisko skorelowanej grupy niejednorodnej (wyjściowe dane z ryc. 7A) – wysoki współczynnik korelacji, E, F – wpływ dodania punktu spoza tendencji na zbiór nisko skorelowanej grupy niejednorodnej (dane bazowe z ryc. 7A) i wysoko skorelowanej grupy jednorodnej (dane bazowe z ryc. 7B)
Examples of the interpretation of regression analysis with account taken of division within a heterogeneous group (e.g. representing regions or landscape types)

wadzenie obliczenia parametrów analizy korelacji. Nawet przy wysokim współczynniku korelacji wyciąganie dalekosiężnych wniosków z tego typu analiz jest wątpliwe.

Ogólnie, wydaje się, że za małą wagę w badaniach przywiązuje się do oceny wiarygodności danych, szczególnie gdy dane dostarczane są ze źródeł zewnętrznych. Zakres kontroli nad pozyskiwaniem danych może być ekstremalnie zawężony, nawet do operowania danymi bez: udziału w pobieraniu próbki, przeprowadzania pomiarów w terenie, nieznajomości podstaw laboratoryjnych metod oznaczeń, czy operowania gotowymi danymi teledetekcyjnymi. Oderwanie badacza od przedmiotu badań praktycznie uniemożliwia stawianie pytań weryfikacyjnych. Innym zagadnieniem jest badanie zjawisk poprzez analizę korelacji i szukanie zależności pomiędzy wszystkimi zmiennymi bez pierwotnych rozważań, czy dana zależność może mieć charakter przyczynowo skutkowy.

Podsumowanie i wnioski

Dbałość o czystość procedur matematycznych (statystycznych) przenosi na drugi plan dbałość o rozumienie praw przyrody. Uzyskanie wysokich współczynników istotności statystycznej wymaga licznej grupy analizowanych obiektów, zaś wysokich wartości współczynników istotności statystycznej nie zapewniają mniej liczne zbiory. Pomimo to, użycie narzędziami analizy statystycznej w stosunku do mniejszych, ale jednorodnych zbiorów danych, prowadzi do zwiększenia wiarygodności uzyskiwanych uogólnień.

Przedstawione przykłady ilustrują jedynie mały wycinek problematyki, związanej z tworzeniem uogólnień na temat krajobrazu (środowiska przyrodniczego), stanowiących o rozwoju i randze nauk o Ziemi. Ich celem było zwrócenie uwagi na zagrożenia płynące z bezkrytycznego zaufania do wyników matematyczno-statystycznego przetwarzania danych. Warto zauważyć, że podobna dyskusja odbyła się w środowisku geografów już ponad 30 lat temu, w „epoce przedkomputerowej", gdy analizowano skuteczność metod statystycznych w wyjaśnianiu badanych zjawisk. Wobec ogromnego postępu rozpoznania Ziemi w wyniku badań teledetekcyjnych, przyrostu informacji z monitoringu oraz zwiększenia możliwości komputerowego modelowania zjawisk, warto, jak się wydaje, dążyć do wykorzystania metod ilościowych do analizy badanych zjawisk ze świadomością rozłożenia akcentów pomiędzy tym, co merytoryczne i tym, co pomocnicze.

W związku z powyższym nasuwa się kilka wniosków o charakterze praktycznym.

1. Obrazy zróżnicowania krajobrazu uzyskane w drodze obliczeń i przetwarzania danych przez programy komputerowe powinny być weryfikowane w terenie. Zalecenia tego nie należy traktować jako propozycji, lecz jako niezbędny etap procedury badawczej.
2. Uzyskanie ze zgromadzonych danych obrazu zależności korelacyjnych, z pominięciem rozumienia zależności przyczynowo-skutkowych, samo w sobie nie jest działalnością merytoryczną, bowiem takie same obrazy może uzyskać osoba biegła w technikach komputerowych, ale nie mająca żadnej wiedzy w danej dyscyplinie naukowej.
3. Wskazany wydaje się powrót do dyskusji na temat pól podstawowych w badaniach krajobrazowych i szersza edukacja studentów w tym zakresie.
4. Obsługa programu komputerowego powinna się łączyć z wiedzą o założeniach na temat przyjętej koncepcji przestrzeni, ich zgodności (częściej: niezgodności) z cechami przestrzeni przyrodniczej.

Ryciny i tabele, pod którymi nie zamieszczono źródła, są opracowaniami własnymi autorów artykułu.

Piśmiennictwo

Chojnicki Z., 1999, *Dylematy metodologiczne geografii*, [w:] Z. Chojnicki, *Podstawy metodologiczne i teoretyczne geografii*, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań, s. 47–60.

Creswell J.W., 2013, *Projektowanie badań naukowych. Metody jakościowe, ilościowe i mieszane*, Wydawnictwa Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.

Czarnowski M., 1989, *Zarys ekologii roślin lądowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Gehlke C.E., Biehl K., 1934, *Certain effects of grouping upon the size of the correlation coefficient in census tract material*, Journal of the American Statistical Association, 29, 185A, s. 169–170.

Harasimiuk A., 1997, *Hydrochemiczne aspekty funkcjonowania krajobrazu na przykładzie zlewni Olszanki*, Prace i Studia Geograficzne, 21, s. 143–213.

Nelson J.K., Brewer C.A., 2017, *Evaluating data stability in aggregation structures across spatial scales: revisiting the modifiable areal unit problem*, Cartography and Geographic Information Science, 44, 1, s. 35–50.

Kurowska-Łazarz R., Szulc W., Woźniak B., Piotrowska M., Drożdżyńska J., 2015, *Vademecum. Pomiary i obserwacje meteorologiczne,* Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.

Lee J., Alnasrallah M., Wong D., Beaird H., Logue E., 2014, *Impacts of Scale on Geographic Analysis of Health Data: An Example of Obesity Prevalence*, ISPRS International Journal of Geo-Information, 3, s. 1198–1210.

Mark D.M., 1980, *On scales of investigation in geomorphology*, Canadian Geographer, 24, s. 81–82.

Mark D.M., Peter B., Aronson P.B., 1984*, Scale-dependent fractal dimensions of topographic surfaces: An empirical investigation, with applications in geomorphology and computer mapping*, Journal of the International Association for Mathematical Geology, 16, 7, s. 671–683.

Miles M.B., Huberman A.M., 2000, *Analiza danych jakościowych*, Trans Humana, Białystok.

Onwuegbuzie A.J., Leech N.L., 2005, *On Becoming a Pragmatic Researcher: The Importance of Combining Quantitative and Qualitative Research Methodologies*, International Journal of Social Research Methodology, 8, 5, s. 375–387.

Ostaszewska K., 2002. *Geografia krajobrazu. Wybrane zagadnienia metodologiczne*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Sieber S., 1973, *The Integration of Fieldwork and Survey Methods*, American Journal of Sociology, 78, 6, s. 1335–1359.

Summary

It is the quantitative paradigm that prevails in science today, but this is not a purely positive phenomenon, since what seems to be the exact expression of research results is only in fact a guise of absolute objectivity. Effect is given to the laws of nature in space whose structure is not fully known, but certainly heterogeneous, and hence different from the assumptions contained in most mathematical formulae. Indeed, most procedures contain

an implicit assumption regarding the homogeneity of space, while the real-life problems relating to the impact of spatial heterogeneity can be seen especially where all kinds of spatial interpolations are applied. Due to heterogeneity of space, seasonality and polygeneticism, natural phenomena are usually characterized by multimodal (multi-peak) distributions of observed variables. Estimation of the mean states from such distributions expressed in terms of the arithmetic mean are inappropriate and in opposition to the basic property of the landscape that is regional differentiation (given that states accepted as representative may in fact be those occurring only rarely or actually precluded in nature).

The aim of the work detailed here has therefore been to point out the dangers of undue trust being put in quantitative methods. The essence of progress in science is an increased scope of understanding of phenomena, not the level of detail at which they are described. Without an awareness of the properties of a structure under examination, statistical expressions do not lead to understanding of the principles by which that structure functions.

Natural phenomena most often have a log-normal distribution and are polygenetic. A further key problem noted in the initial stages of research therefore relates to proper sampling. Attention is also drawn here to the variability of conditions and states represented by environmental samples, which makes it necessary to use weighted means (especially important where the cycling of matter is being investigated).

The article exemplifies problems related to the use of quantitative methods in physical geography, especially in the context of the use of the commonest statistical measures. Apart from the criticism regarding the incautious use of statistical tools, an indication is also given of certain possibilities for statistical measures to be reinterpreted following division of data into subgroups representing specific fragments of space or categories of phenomena. Genetic explanations in a collection of chaotic data are provided for in this way.

[Wpłynęło: styczeń 2019; poprawiono: styczeń 2020]