

ZASTOSOWANIE ANALIZY CZYNNIKOWEJ — SPOSÓB R DO POPULACJI GEOLOGICZNEJ GLIN ZWAŁOWYCH Z OBSZARU SZCZECINA I OKOLIC

UKD 024.131.224:551.799(438.252)

Analiza czynnikowa szeroko stosowana w różnych dziedzinach nauki, a zwłaszcza w medycynie i psychologii (9), znalazła ostatnio zastosowanie również w geologii jako jedna z technik statystycznych, służąca do rozpoznawania ukrytych struktur środowiska geologicznego (m. in. Krumbain W., Graybill F. A. — 6; Szarapow I. P. — 14). W wielu pracach zagranicznych zastosowano analizę czynnikową dla charakterystyki osadów klastycznych, a w zdecydowanej przewadze dla osadów piaszczystych (4, 10, 13). Natomiast w polskiej literaturze geologicznej obserwuje się szereg prób zastosowania analizy czynnikowej (jak dotychczas jedynie sposób R) dla charakterystyki glin zwałowych. Prób takich dokonał: I. Wiatr (16), która zastosowała ją jako metodę do badania układu strukturalnego cech fizycznych glin zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego z regionu Turka oraz ostatnio W. C. Kowalski i A. Kowalski (1973) dla regionalizacji glin zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego i bałtyckiego na Niziu Polskim.

Celem artykułu jest przedstawienie próby zastosowania analizy czynnikowej — sposób R do zbadania układu strukturalnego cech fizycznych oraz wykrycia zróżnicowania poziomego i pionowego glin zwałowych zlodowacenia bałtyckiego, z obszaru miasta Szczecina i jego najbliższych okolic. Gliny zwałowe, które są przedmiotem badań, reprezentują 2 pierwsze poziomy, licząc od powierzchni terenu. Serie glin zwałowych obu poziomów występują w bardzo zmiennym wykształceniu przestrzennym, co wiążeć należy z zakłóceniami dynamicznymi spowodowanymi przez ciśnienie i ruch postępowy lododu (w czasie tworzenia się materiału osadowego) oraz z zaburzeniami glaciektonicznymi ściśle związanymi z egzaracją i wyciskaniem materiału podłoża sprzed czoła lodowca. Materiał ten w efekcie licznych procesów był przemieszczany i wymieszany z materiałem alimentacyjnym (2, 11, 12). Zatem forma występowania osadu, jego skład granulometryczny i pozostałe związane z nim cechy fizyczne są sumarycznym efektem procesów związanych z dynamiką glacjacji i deglacjacji (1, 3, 6).

Materiał, budujący glinę zwałową, jest mieszaniną: detrytusu skał krystalicznych północy z obszarów alimentacji, zegzarowanych skał starszego podłoża, starych osadów glacjalnych, jak również produktów wietrzenia materiału tworzącego glinę. Środowisko geologiczne glin zwałowych zdeternowane wybranym zestawem próbek — odwzorowujących genezę osadu — opisano za pomocą 8 cech fizycznych (wartości mierzalnych, nie pozostających ze sobą w bezpośredniej zależności funkcyjnej, a mianowicie: cechy frakcji zwirowej — Z, cechy frakcji piaskowej — P, cechy frakcji pyłowej — π , cechy frakcji ilowej — I, cechy ciężaru objętościowego — γ , cechy wilgotności naturalnej — W, cechy granicy plastyczności — W_p i cechy granicy płynności — W_f).

Ze względu na bardzo dużą zmienność litologiczną utworów w obrębie badanych glin zwałowych

(8), analizie czynnikowej poddano nie tylko populację generalną, lecz 10 subpopulacji mniejszych jednostek przestrzennych, wydzielonych z całego dużego obszaru, za pomocą zastosowanej wyróżniającej funkcji liniowej. Zakładano, że posługując się modelem czynnikowym, techniką R, uda się bardzo szczegółowo zbadać strukturę środowiska geologicznego w całości oraz wychwycić różnice strukturalne cech, wynikające z różnej intensywności działania różnych procesów, w różnych miejscach obszaru.

Po dokonanej procedurze obliczeń na e.m.c. GIER IV, programem opracowanym i dostosowanym do zadań geologicznych, napisanym w języku GIER ALGOL IV oraz programem „rotacja”, uzyskano obliczenia:

- macierzy korelacji R (dla zbadania siły powiązań pomiędzy cechami),
 - wartości własnych macierzy korelacji (dla wyznaczenia czynników głównych),
 - ładunków czynnikowych w kolejnych cechach wraz z procentami zmienności ogólnej,
 - oraz macierzy B ładunków identyfikujących czynniki główne już po dokonanej rotacji.
- Obliczeń dokonał mgr A. Kowalski w Zakładzie Obliczeń Numerycznych UW.

Ostatnim etapem pracy jest interpretacja uzyskanych wyników i analiza przydatności zastosowanego modelu czynnikowego w badaniach ukrytych struktur cech fizycznych środowiska geologicznego. Interpretacji dokonano na podstawie całości uzyskanych wyników, w niniejszym artykule podaje się jedynie wyniki ostatniego etapu obliczeń, a mianowicie: układ ładunków zmiennych (po dokonanej rotacji macierzy B) dla wyróżnionych czterech czynników populacji generalnej (tab. I) oraz trzech czynników subpopulacji: C_I , D_I , A_I i B_{III} wraz z wartościami własnymi i procentami wykorzystania zmienności wspólnej (tab. II—V).

ANALIZA CZYNNIKÓW GŁÓWNYCH

Rozważając sens geologiczny uzyskanych wyników, wyróżnione czynniki, z których każdy reprezentuje część zmienności, spróbowano na wzór Imbriego ocenić jako zespół procesów geologicznych, natomiast intensywność i natężenie tych procesów powiązać z wielkościami liczb w macierzy B (tab. I—V), a mianowicie z wartościami ładunków cech zawartych w czynnikach.

Macierz B glin zwałowych populacji generalnej (tab. I) — wyróżnia się 4 czynniki główne. W czynniku pierwszym F_I ujawnia się najsilniej proces sedimentacji, przy współdziałaniu dynamiki procesów glacjacji deglacjacji, które to procesy kształtują skład granulometryczny osadu. Warunki osadzania się glin zwałowych odwzorowują cechy procentowej zawartości frakcji, a zwłaszcza frakcji piaskowej P, której w macierzy B odpowiada największa wartość ładunku czynnikowego — 0.8465. Granica płynności W_f jest drugą cechą w czynniku pierwszym, której w macierzy B odpowiada wartość ładunku czynnikowego +0.8361. Charakteryzuje ona stan obecny

Tabela I
MACIERZ B — GLINA ZWAŁOWA POPULACJI GENERALNEJ

Cecha	czynnik I	czynnik II	czynnik III	czynnik IV
	wartość ładunków poszczególnych czynników			
Z	-0.1008	+0.01436	+0.9178	+0.3711
P	-0.8465	+0.4531	-0.2041	+0.04657
π	+0.6816	-0.3591	+0.1484	-0.6263
I	+0.6347	-0.3118	-0.3070	+0.5660
γ	-0.3644	-0.7807	-0.2500	+0.1639
W	+0.5726	+0.6585	-0.06240	+0.09983
Wp	+0.5678	+0.5262	-0.2155	+0.01786
WL	+0.8361	-0.1587	+0.0962	+0.1637
λ	3.0761	1.7769	1.0518	0.98707
% * wyk. zmien.	38,45	22,21	13,15	12,34

* Procent wykorzystania zmienności.

masy gruntowej, związany również w dużym stopniu ze składem mineralnym najdrobniejszej frakcji; a zatem równoległe z sedymentacją zaznacza się zespół procesów: fizyczny i chemiczny.

W mniej silnej współzależności z czynnikiem pierwszym pozostaje: cecha frakcji pyłowej π i frakcji ilowej I, co odpowiada wartości ładunku czynnikowego +0.6816 i +0.6347. Wymienione cechy, opisujące czynnik pierwszy i pozostające z nim w ścisłym stosunku, charakteryzują się największym współdziałaniem w zmienności ogólnej układu, tj.: 38,45%, co wyraża również wartość własna czynnika pierwszego $\lambda = 3.076$ (tab. I).

Sposób zaangażowania cech w czynniki pierwszym odwzorowuje duża wartość ładunków czynnikowych, co należałoby tłumaczyć odpowiednim stopniem natężenia procesów (w danym zespole) podporządkowanych czynnikowi F_1 , a jednocześnie określa hierarchię cech w układzie strukturalnym. Proces sedymentacji ujawnia się również w czynniku trzecim (tab. I), ale już ze znacznie mniejszą siłą, o czym świadczy wielkość własna czynnika trzeciego, $\lambda = 1.052$ oraz prawie trzykrotnie mniejszy procent wykorzystania zmienności wspólnej = 13,15%, w porównaniu z czynnikiem pierwszym. W czynniku trzecim proces sedymentacji, przy współdziałaniu czynników selekcji, wskutek wymywania drobnych frakcji, określony jest cechą frakcji żwirowej Z, o czym świadczy wartość ładunku czynnikowego +0.9178. Żwir jako składnik glin zwałowych występuje w stosunkowo małym procencie w porównaniu z pozostałymi frakcjami, natomiast zmienność jego w glinie zwałowej jest bardzo duża — współczynnik zmienności: $V = 57,70\%$.

Związane ściśle z czynnikiem drugim cechy: ciężar objętościowy γ (o czym świadczy wartość ładunku czynnikowego -0.7802) oraz wilgotność naturalna W (o czym świadczy wartość ładunku czynnikowego +0.6585) ujawniają zespół procesów, który doprowadził grunt do kompaktacji i zagęszczenia z jednoczesnym wyciskaniem wody z masy gruntowej, jak również wyparowywaniem wody w okresie ablacji. Obie cechy, opisujące czynnik drugi i pozostające ze sobą w ścisłej korelacji, odwzorowują układ wielofazowy gruntu i współpracę fazy stałej z fazą wodnogazową. Czynnik drugi charakteryzuje się wartością własną $\lambda = 1.777$ i wykorzystuje 22,21% ogólnej zmienności.

Czynnik czwarty posiada najmniejszą wartość własną $\lambda = 0.987$. Należy przypuszczać, że podporządkowane mu są procesy wtórne (cecha frakcji

Tabela II
MACIERZ B — GLINA ZWAŁOWA SUBPOPULACJI C_1

Cecha	Czynnik I	Czynnik II	Czynnik III
	wartość ładunków poszczególnych czynników		
Z	-0.6562	+0.0679	+0.4072
P	-0.8715	-0.3495	+0.04771
π	+0.7911	+0.2635	-0.4942
I	+0.6650	+0.1444	+0.6449
γ	-0.6557	+0.7135	-0.0913
W	+0.6467	-0.6934	+0.1881
Wp	+0.8843	+0.08933	-0.1674
WL	+0.8419	+0.3008	+0.2783
λ	4.5971	1.3270	0.92131
% wyk* zmien.	57,46	16,59	2,1 51

* Procent wykorzystania zmienności wspólnej.

Tabela III
MACIERZ B — GLINA ZWAŁOWA SUBPOPULACJI A_1

Cecha	Czynnik I	Czynnik II	Czynnik III
	wartość ładunków poszczególnych czynników		
Z	+0.1106	-0.3632	-0.4807
P	-0.8442	+0.4094	+0.1482
π	+0.5274	-0.5508	-0.5610
I	+0.5281	-0.08110	+0.7142
γ	-0.2388	-0.7417	+0.4377
W	+0.5555	+0.6139	+0.0937
Wp	+0.3880	+0.3972	+0.2970
WL	+0.7030	-0.0472	+0.0480
λ	2.2928	1.6964	1.3688
% wyk* zmien.	28,66	21,20	17,11

* Procent wykorzystania zmienności.

pyłowej π w znacznie silniejszym związku pozostaje z czynnikiem pierwszym), jak wietrzenie z jednoczesnym wymywaniem frakcji pyłowej z warstw nadległych i wzbogacenie nią poziomów iluwialnych, jak również dodatkowe tworzenie się frakcji pyłowej wskutek koagulacji najdrobniejszych cząsteczek w warunkach wodnych. Wartość ładunku czynnikowego od cechy frakcji pyłowej wynosi +0.6263 (tab. I). Czynnik czwarty reprezentuje tylko 12,34% zmienności ogólnej, co pozwala przypuszczać, że wtórne procesy (kształtujące cechę frakcji pyłowej) na tym obszarze działały ze znacznie mniejszym natężeniem niż procesy podporządkowane czynnikiowi pierwszemu.

W wyniku szczegółowej analizy macierzy B glin zwałowych populacji generalnej należy stwierdzić, że ze względu na bardzo złożoną strukturę środowiska geologicznego (16) glin zwałowych jako utworów glacialnych, wyróżnione czynniki wyjaśniają tylko 86,15% ogólnej zmienności układu. Za cechy wiódące w układzie strukturalnym uznano: cechę frakcji piaskowej P, oraz cechę granicy płynności W_1 , ze względu na stopień ich zaangażowania w czynniki pierwszym i największy procentowy udział we wspólnej zmienności, w populacji generalnej glin zwałowych (tab. I).

Z merytorycznego punktu widzenia frakcja piaskowa jest głównym składnikiem materiału budują-

Tabela IV

MACIERZ B — GLINA ZWAŁOWA SUBPOPULACJI D₁

Cecha	Czynnik I	Czynnik II	Czynnik III
	wartości ładunków poszczególnych czynników		
Z	-0.2021	+0.3487	[+0.8749]
P	[-0.8422]	+0.4559	-0.1636
π	+0.0575	-0.3753	+0.0084
I	+0.5272	-0.3225	+0.0217
γ	-0.2464	[-0.6896]	+0.2799
W	+0.5031	+0.5224	-0.2344
Wp	+0.4030	[+0.6295]	+0.0813
WL	[+0.8389]	+0.2164	+0.2120
λ	2.8269	1.7766	0.9776
% wyk*. zmien.	32,84	22,20	12,22

* Procent wykorzystania zmienności wspólnej.

cego glinę zwałową złodowacenia bałtyckiego, natomiast granica płynności charakteryzuje stan gruntu, przy którym glina jako ciało plastyczne jest zdolna ulegać deformacjom, nie niszcząc przy tym swojej struktury. Jednocześnie wartość tej cechy jest w pewnym stopniu wskaźnikiem składu mineralnego frakcji ilowej. Granica płynności odzwierciedla procesy, jakie przeszła glina zwałowa od stanu pierwotnego (masy płynnej) do stanu w chwili obecnej.

Przy porównaniu wartości glin zwałowych populacji generalnej zawartych w macierzy B (tab. I) z wartościami w pozostałych macierzach B glin zwałowych, jak np. w subpopulacjach C₁ (tab. II), A₁ (tab. III), D₁ (tab. IV) i B_{III} (tab. V) zauważa się wyraźne różnice:

- w wartościach własnych λ czynników pierwszych, które wahają się od 2.293 do 4.597;
- w wykorzystaniu wspólnej procentowej zmienności (28,65—54,46%);
- w ilości i hierarchii cech opisujących czynnik pierwszy, o czym świadczą wartości ładunków czynnikowych, określających w pewnym sensie siłę związku, łączącego wartość danej cechy z czynnikami;
- oraz w rodzaju cech opisujących czynnik trzeci, w wyżej wymienionych subpopulacjach i populacji generalnej.

Różne wartości własne, różnice w wykorzystaniu wspólnej procentowej zmienności informują wyraźnie, że procesy biorące udział w kształtowaniu osadu na badanym obszarze działały w różnych miejscach tego obszaru (wydzielone jednostki przestrzenne) z niejednakową intensywnością i zmiennym natężeniem.

Z przeprowadzonej analizy uzyskano wyraźny obraz różnic strukturalnych w układach cech w poszczególnych jednostkach przestrzennych. Ponieważ czynnik pierwszy, obrazujący proces sedimentacji w subpopulacjach A₁, D₁, C₁, B_{III} (tab. II—V), jak również w populacji generalnej (tab. I), opisany jest różnym zestawem cech; świadczy on o bardzo dużym zróżnicowaniu litologicznym w obrębie badanych glin i uwypukla różnice pomiędzy wydzielonymi jednostkami przestrzennymi. Czynnik trzeci, któremu podporządkowane są procesy wtórne w przypadku subpopulacji A₁ i C₁ (tab. III i II), opisany cechą frakcji ilowej, potwierdza wzbogacenie osadu we frakcję ilową, a w obrębie tych dwu jednostek przestrzennych, w przeciwieństwie do glin zwałowych subpopulacji D₁ i B_{III}, w czynniku trzecim wyróżnia się cecha frakcji żwirowej Z.

Najmniejsze różnice zauważa się w czynniku drugim charakteryzującym proces diagenety we wszystkich kolejnych macierzach B glin zwałowych, co wyraża się w wartościach własnych czynników i w procencie wykorzystania zmienności wspólnej,

Tabela V

MACIERZ B — GLINA ZWAŁOWA SUBPOPULACJI B_{I/II}

Cecha	Czynnik I	Czynnik II	Czynnik III
	wartość ładunków poszczególnych czynników		
Z	-0.2262	+0.3042	[+0.7671]
P	[-0.8537]	-0.4439	-0.2316
π	[+0.7579]	+0.2610	+0.07729
I	[+0.8021]	+0.2645	-0.2052
γ	-0.2898	[+0.6978]	-0.5364
W	+0.5604	[-0.7007]	-0.0235
Wp	[+0.7103]	-0.4712	-0.1072
WL	[+0.9056]	+0.2313	+0.0173
λ	3.7204	1.6810	0.9564
% wyk*. zmien.	46,51	21,01	11,98

* Procent wykorzystania zmienności wspólnej.

który waha się od 22,20 do 16,59%. Niezależnie od ustalenia tym sposobem istniejącej zmienności środowiska glin zwałowych i stwierdzenia różnic w rodzaju i formie występowania osadu poszczególnych wyróżnionych jednostek przestrzennych, podobnie jak w populacji generalnej — w subpopulacjach, za cechy główne uznano cechę frakcji piaskowej i cechę granicy płynności, z wyjątkiem subpopulacji C₁, gdzie wyróżnia się cecha granicy plastyczności. Granica plastyczności W_p charakteryzuje stan gruntu przy minimalnej zawartości wody w gruncie, przy której zaznaczają się jego własności plastyczne. Do stanu tego glina zwałowa dochodzi w końcowym stadium sedimentacji.

PODSUMOWANIE I UWAGI KOŃCOWE

Z przeprowadzonej próby interpretacji i uzyskanych wyników należy wnioskować, że analiza czynnikowa — sposób R stwarza możliwości:

- w uzyskaniu charakterystyki poszczególnych typów glin zwałowych, z jednoczesnym wykazaniem różnic w układach strukturalnych cech fizycznych poszczególnych jednostek przestrzennych, w obrębie obu poziomów glin zwałowych całego badanego obszaru;
 - w ustaleniu zależności w postaci cyfrowej pomiędzy cechami a czynnikami (procesami geologicznymi, kształtującymi cechy fizyczne na całym badanym obszarze), a których wartości świadczą o dużej zmienności materiału w obrębie badanego środowiska;
 - w wyróżnieniu cech wiodących, będących efektem najważniejszych procesów geologicznych i innych im towarzyszących, działających w czasie tworzenia się osadu, co w interpretacji geologicznej, w dużym stopniu znajduje potwierdzenie.
- Przydatność analizy czynnikowej — sposób R wyraża się również:
- w możliwości oceny intensywności działania procesów na podstawie procentowych udziałów czynników w zmienności układu strukturalnego modelu;
 - w możliwości badania różnic i podobieństw w kategorii trzech czynników a nie ośmiu cech, z jednoczesnym wyznaczeniem hierarchii cech opisujących czynnik.
- Stosowanie analizy czynnikowej przy skomplikowanych strukturach środowiska geologicznego wymaga bardzo dobrego rozpoznania merytorycznego. Wymaga jednocześnie doboru odpowiednio efektywnych cech, najwierniej odzwierciedlających genezę środowiska, w przeciwnym razie, wyróżnionym czynnikom nie zawsze będzie można przypisać sens geologiczny.

LITERATURA

1. Falkiewicz A. — Własności fizyczno-mechaniczne glin zwałowych środkowego Mazowsza. Biul. geol. Wydz. Geol. UW, 1962, T. 2.
2. Flint R. — Glacial and Pleistocene Geology. New York — London, 1957.
3. Gillberg M. — A statistical study of till from Sweden. Geologiska Foreningens i Stockholm Föreläsningar. 1965, T. 87.
4. Klován J. E. — The use of factor analysis in determining depositional environments from grain-size distributions. Journ. Sedim. Petrol., 1966, vol. 36, No. 1.
5. Krumbein W. C., Graybill F. A. — An Introduction Statistical Models in Geology. Mc Graw-Hill, 1965.
6. Krygowski B. — Z badań granulometrycznych nad utworami plejstocenijskimi w Polsce zachodniej. Biul. Inst. Geol. 1956, nr 100.
7. Krygowski B. — Rola glaciekttoniki w rozwoju niżowej rzeźby Polski zachodniej. Czas. geogr. 1962, z. 3.
8. Lipińska N. — Zastosowanie funkcji wyróżniającej dla rozdzielenia dwu poziomów glin zwałowych z obszaru m. Szczecina i okolic. Biul. geol. Wydz. Geol. UW, 1971, T. 16.
9. Lawley D. N., Maxwell A. E. — Factor Analysis as a Statistical Method. London, 1963. Tłum. na j. ros. Izd. Mir. Moskwa, 1967.
10. Mather P. M. — Study of factors influencing variation in size characteristics of fluvio-glacial sediments. Journ. Intern. Assoc. Math. Geol. 1972, nr 3.
11. Ruchina E. W. — Litologija moriennych otłożeń. Leningrad, 1960.
12. Różycki S. Z. — Dynamiczne uławicenie glin zwałowych i inne procesy w dennej części moren łądolodów czwartorzędowych. Acta geol. pol. 1970, nr 3.
13. Solohub J. T., Klován J. E. — Evolution of grain-size parameters in lacustrine environments. Journ. Sedim. Petrol. 1970, No. 1.
14. Szarapow I. P. — Primienienie matematycznej statistiki w geologii. Moskwa, 1971.
15. Wiatr I. — Model statystyczny wybranych cech środowiska inżyniersko-geologicznego kopalnych dolin Przekory i Małgorzaty w okolicy Turka. Biul. geol. Wydz. Geol. UW, 1974, nr 15.
16. Wiatr I., Stenzel P. — Analiza czynnikowa, sposób — R. Prz. geol. 1973, nr 1.

SUMMARY

The factor analysis (R-mode) was used in studies on subsurface structures of tills (represented by two upper till horizons) of the Baltic Glaciation from the area of Szczecin and its vicinities. General population and 10 subpopulations (corresponding to smaller spatial units separated within the area examined) were described by the use of eight physical parameters (measurable properties). The main factors distinguished (F_1, F_2, F_3, F_4) reveal the structure of geological population and reconstruct set of processes forming physical properties of the glacial deposits. Moreover, the studies on the structure of the subpopulations give characteristics of particular spatial units, which makes possible to trace changes in structural patterns of physical parameters of particular types of tills from the two till horizons.

The results obtained confirm usefulness of the R-mode factor analysis in reconstructions of engineering-geological environment.

РЕЗЮМЕ

Факторный анализ (способ R) применялся в исследованиях скрытых структур валунных глин балтийского оледенения, представленных в районе г. Щецин двумя верхними горизонтами. Генеральную популяцию и 10 субпопуляций валунных глин (более мелких пространственных единиц, выделенных в данном районе) описано на основании характеристики восьми физических свойств (измеряемых величин). Определенные главные факторы (F_1, F_2, F_3, F_4) характеризуют структуру геологической популяции и отражают процессы, которые влияли на создание определенных физических свойств ледниковых отложений. Кроме того, путем изучения структур субпопуляций были получены характеристики отдельных пространственных единиц, позволяющие проследить изменения структурных соотношений и физических свойств разных типов валунных глин в двух исследованных горизонтах.

Полученные результаты обосновывают пригодность факторного анализа (способ R) для определения инженерно-геологических условий.