INEZ WIATR
OBRI Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska

ANALIZA CZYNNIKOWA WYBRANYCH „PRZEDMIOTOWYCH" I „ZDARZENIOWYCH" POPULACJI GEOLOGICZNYCH

Analiza czynnikowa — sposób R wraz z rotacją ortogonalną (7) może być stosowana w badaniach geologicznych w co najmniej dwojakim aspekcie:

1) jako narzędzie dla uzyskania modelu statystycznego populacji geologicznej przedmiotowej,

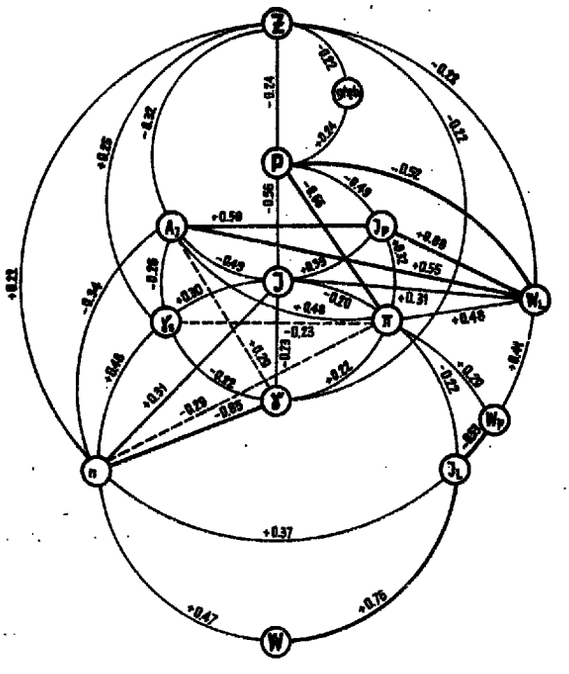
2) jako technika pomocnicza dla wyróżnienia znaczących parametrów fizycznych we wstępnej analizie poprzedzającej budowę modelu stochastycznego populacji geologicznej zdarzeniowej.

ANALIZA CZYNNIKOWA GLINY ZWAŁOWEJ — POPULACJA GEOLOGICZNA PRZEDMIOTOWA

Celem badania była analiza układu strukturalnego cech fizycznych gliny zwałowej oraz wyróżnienie cech wiodących (określających zmienność całego układu), w funkcji których udałoby się określać wartości pozostałych cech, bez konieczności prowadzenia badań laboratoryjnych. Punktem wyjścia dla sformułowania modelu statystycznego jest zawsze koncepcyjny model geologiczny zdeterminowany historią sedymentacji i denudacji, będących w bezpośredniej relacji z rozwojem paleogeograficznym danego regionu. Glina poddana badaniu spełnia wymagania homogeniczności populacji geologicznej przedmiotowej w węższym sensie, a więc:

a) powstała jako określona masa skały w jednym okresie i jako rezultat pojedynczego lub grupy procesów geodynamicznych,

b) obejmuje tę samą litofację,



Korelogram cech fizycznych gliny zwałowej.
Correlograph of physical properties of bounder clays.

Tabela I

Macierz analizy strukturalnej
Matrix of structural analysis

	Deep	Ż	P	π	I	γ_s	γ	W	W_p	W_L	I_L	I_p	A_1	n	e
Mean values 14.3730	1.6923	60.2540	23.1960	14.3580	2.6724	2.2220	9.2854	10.2650	20.0450	0.1136	9.7800	0.6846	23.8811	0.5168	
Variances 11.7810	1.6669	27.2430	19.1650	12.3840	0.0007	0.0046	3.5312	1.7480	7.9188	0.0691	6.6406	0.0493	8.8625	0.0027	
Correlation matrix															
Deep	1.0000														
Ż	−0.2153	1.0000													
P	0.2419	−0.2395	1.0000												
π	−0.0046	−0.1849	−0.6586	1.0000											
I	−0.1586	0.1897	−0.5647	−0.2026	1.0000										
γ_s	−0.0700	0.2544	−0.0744	−0.2349	0.3084	1.0000									
γ	0.1022	−0.2143	0.0263	0.2233	−0.2334	−0.2246	1.0000								
W	0.1954	−0.0234	0.0821	−0.1270	0.1166	0.1153	−0.0145	1.0000							
W_p	0.0511	−0.1133	−0.1582	0.2892	−0.0892	−0.0952	0.1012	0.0513	1.0000						
W_L	0.0667	−0.2168	−0.5207	0.4282	0.3129	−0.0585	0.1243	0.0118	0.4067	1.0000					
I_L	0.1608	0.0046	−0.2224	0.1767	0.1767	0.1276	−0.0142	0.7594	−0.5264	−0.0696	1.0000				
I_p	0.0466	−0.1786	−0.4900	0.3193	0.3674	−0.0150	0.0838	−0.0184	−0.0690	0.8838	0.1941	1.0000			
A_1	0.1582	−0.3247	0.0182	0.4755	−0.4896	−0.2558	0.2872	−0.1100	0.0493	0.5513	0.0068	0.5767	1.0000		
n	−0.0108	0.2254	−0.0207	−0.2965	0.3108	0.4826	−0.8514	0.4740	−0.0879	−0.1167	0.8755	−0.0824	−0.8446	1.0000	
e	−0.0138	0.2199	−0.0814	−0.2839	0.3129	0.4705	−0.8580	0.4756	−0.0746	−0.0940	0.8712	−0.0644	−0.8285	0.9976	1.0000

Explanations: Ż — gravel, P — sand, π — silt, I — clay, γ_s — specific weight, γ — volume weight, W — humidity (natural water content), W_p — plastic limit, W_L — liquid limit, I_L — degree of plasticity, I_p — plasticity index, A_1 — Skempton's index, n — porosity, e — void ratio.

Matrices of principal factor analysis
Macierze analizy głównych czynników

Mean volues

1.6923	60.2540	23.1960	14.8580	2.6724	2.2220	9.2854	10.2650	20.0450

Variances

1.6669	27.2440	19.1660	12.8840	0.0007	0.0046	3.5312	1.7481	7.9188

Correlation matrix

Ż	1.0000								
P	−0.2395	1.0000							
π	−0.1649	−0.6586	1.0000						
I	0.1897	−0.5647	−0.2026	1.0000					
γ_s	0.2544	−0.0741	−0.2348	0.3035	1.0000				
γ	−0.2143	0.0264	0.2233	−0.2334	−0.2246	1.0000			
W	−0.0234	0.0322	−0.1270	0.1166	0.1153	−0.0145	1.0000		
W_p	−0.1133	−0.1531	0.2892	−0.0892	−0.0951	0.1012	0.0513	1.0000	
W_l	−0.2168	−0.5207	0.4282	0.3129	−0.0584	0.1243	0.0118	0.4067	1.0000
	2.3851	2.0118	1.1249	0.87062	0.79712	— eigenvalue			

A — Matrix of common loadings

Ż	−0.1568	0.5772	−0.2345	0.6269	−0.2236	
P	−0.8054	−0.4746	0.2175	−0.0834	0.1245	
π	0.7953	−0.2569	−0.2453	0.1572	−0.3230	
I	0.2575	0.7961	0.0676	−0.2955	0.2939	
γ_s	−0.1765	0.6300	0.2544	0.2767	0.2527	
γ	0.2335	−0.5289	0.1919	0.4323	0.4711	
W	−0.0584	0.1658	0.8083	−0.0737	−0.4380	
W_p	0.5164	−0.2098	0.4096	0.2027	−0.0754	
W_l	0.8108	0.0745	0.1873	−0.2206	0.2397	
	26,5%	48,85%	61,35%	71,03%	79,88%	— part of variance

Factor analysis — Matrix B

	F_I	F_{II}	F_{III}	F_{IV}	F_V
Ż	−0.0068	−0.1178	−0.0573	**0.8760**	0.2665
P	**−0.8515**	−0.2862	0.0700	−0.3626	0.0126
π	0.8488	−0.3161	−0.2230	−0.0666	−0.1148
I	0.2054	**0.8443**	0.1906	0.2934	0.0265
γ_s	−0.1725	0.3666	0.2656	0.4396	0.4532
γ	0.1313	−0.2326	−0.2100	−0.4938	**0.6485**
W	0.0047	−0.1379	**0.9284**	0.0122	−0.0249
W_p	0.5078	−0.2090	0.2833	−0.2642	0.2714
W_l	0.7152	0.4089	0.0938	−0.3278	0.0963

c) jest opisywana tą samą historią geologiczną,
d) w całej swojej objętości stanowi strukturę, którą można odnieść do tych samych procesów geodynamicznych.

Modelowana statystycznie populacja gliny zwałowej buduje większą część czwartorzędowej jednostki stratygraficznej w regionie Turka (opróbowane wiercenia wykonano w odległości około 5 km na ESE od Turka). W obrębie jednostki wyróżnić można dwa kompleksy gliny zwałowej: pierwsza — związana ze zlodowaceniem krakowskim, zalega w formie reliktowej; druga — poddana rozważaniom, związana ze zlodowaceniem środkowopolskim — występuje w bardzo zróżnicowanym wykształceniu przestrzennym: miąższości wahają się od 1 do 58 m. Tak duże fluktuacje miąższości mają prawdopodobnie związek ze specyfiką dynamizmu sedymentacji glacjalnej (4) jak również z erozją, eworsją, glacitektoniką i egzaracją lodowcową. Podstawowym czynnikiem, który wpłynął na bardzo skomplikowany i zróżnicowany układ warstw w całej jednostce stratygraficznej czwartorzędu wydaje się tu być charakter rzeźby podłoża.

Schemat stratygraficzny, oparty na syntetycznym profilu S. Z. Różyckiego został przyjęty za J. Czarnikiem (1). Opracowując model układu przestrzennego poszczególnych warstw w sekwencji stratygraficznej i genetycznej zastosowano obok metod tradycyjnych metody matematyczne oparte na technice komputerowej. Historia rozwoju procesów geologicznych na tym terenie w okresie plejstocenu wydaje się, w głównych zarysach, czytelna poprzez interpretację map trendów i pozostałości, wykonanych przy użyciu podwójnych szeregów Fouriera (6). Technika ta była omawiana na łamach „Przeglądu Geologicznego" w 1973 r. (nr 8-9). Przyjęcie dokumentowanego przez J. Czarnika schematu wynikło z niemal całkowitej zgodności co do genezy i hierarchii układów paleogeograficznych. Właściwość rozumowania potwierdziły mapy wykonane za pomocą elektronicznej maszyny cyfrowej. Historia geologiczna badanej populacji wskazuje, iż glina poddana była działalności różnorodnych procesów geodynamicznych, co wydaje się czytelne przy zastosowaniu analizy zmienności opisujących ją zmiennych, za które przyjęto tu cechy fizyczne.

Tabela 8

MACIERZE ANALIZY GŁÓWNYCH CZYNNIKÓW (SPRAWDZENIE PRAWIDŁOWOŚCI OBLICZEŃ WYJŚCIOWYCH)
MATRICES OF PRINCIPAL FACTOR ANALYSIS (PROVE OF CORRECTNESS OF OUTEL DETERMINATION)

ŚREDNIE (THE MEANS):

	14,3730	1,6923	60,2540	23,1960	14,8580	2,6724	2,2220	9,2854	10,2650	20,0450	—0,1136	9,7800	0,6846	23,8810

WARIANCJE (THE VARIANCES):

	117,310	1,6669	27,2430	19,1650	12,8840	0,0007	0,0046	3,5312	1,7480	7,9188	0,0691	6,6406	0,0498	8,8625

MACIERZ KORELACJI R (THE CORRELATION MATRIX R):

Gł.	1,0000												
Ż	—0,2158	1,0000											
P	0,2419	—0,2395	1,0000										
π	—0,0946	—0,1649	—0,6586	1,0000									
I	—0,1586	0,1897	—0,5647	—0,2026	1,0000								
γ_s	—0,0700	0,2544	—0,0744	—0,2349	0,3034	1,0000							
γ	0,1022	—0,2143	0,0263	0,2233	—0,2334	—0,2246	1,0000						
W	0,1954	—0,0234	0,0321	—0,1270	0,1166	0,1153	—0,0145	1,0000					
W_P	0,0511	—0,1133	—0,1532	0,2892	—0,0892	—0,0952	0,1012	0,0513	1,0000				
W_L	0,0667	—0,2168	—0,5207	0,4282	0,3129	—0,0585	0,1243	0,0118	0,4067	1,0000			
L_L	0,1608	0,0046	0,0638	—0,2224	0,1767	0,1276	—0,0142	0,7594	—0,5264	—0,0696	1,0000		
I_P	0,0466	—0,1786	—0,4900	0,3193	0,3874	—0,0150	0,0838	—0,0134	—0,0690	0,8833	0,1941	1,0000	
A_I	0,1532	—0,3247	0,0182	0,4755	—0,4896	—0,2558	0,2872	—0,1100	0,0493	0,5513	0,0068	0,5767	1,0000	
n	—0,0108	0,2254	—0,0007	—0,2965	0,3108	0,4826	—0,8514	0,4740	—0,0879	—0,1167	0,3755	—0,0824	—0,3446	1,0000

MACIERZ CZYNNIKA POCZĄTKOWEGO A (THE "INITIAL-FACTOR" MATRIX A):

	2,3851	2,0118	1,1249	0,87062	0,79712	— wagi własne (the eigenvalues)
Ż	—0,1568	0,5772	—0,2345	0,6269	—0,2236	
P	—0,8054	—0,4746	0,2175	—0,0834	0,1245	
π	0,7953	—0,2569	—0,2453	0,1572	—0,3230	
I	0,2575	0,7961	0,0676	—0,2955	0,2939	
γ_s	—0,1765	0,6300	0,2544	0,2767	0,2527	
γ	0,2335	—0,5289	0,1919	0,4323	0,4711	
W	—0,0584	0,1658	0,8083	—0,0737	—0,4380	
W_P	0,5164	—0,2098	0,4096	0,2027	—0,0754	
W_L	0,8108	0,0745	0,1873	—0,2206	0,2397	
	26,5%	48,85%	61,35%	71,03%	79,88%	— całkowita suma kwadratów (of the total sum of squares)

MACIERZ CZYNNIKA OBRÓCONEGO B (THE "ROATED FACTOR" MATRIX B):

Ż	—0,0068	—0,1178	—0,0573	[0,8760]	0,2665
P	[—0,8515]	—0,2862	0,0700	—0,3626	0,0126
π	0,8488	—0,3161	—0,2230	—0,0666	—0,1148
I	0,2054	[0,8443]	0,1906	0,2934	0,0265
γ_s	—0,1725	0,3666	0,2656	0,4396	0,4532
γ	0,1313	—0,2326	—0,2100	—0,4938	[0,6485]
W	0,0047	—0,1379	[0,9284]	0,0122	—0,0249
W_P	0,5078	—0,2090	0,2833	—0,2642	0,2714
W_L	0,7152	0,4089	0,0938	—0,3278	0,0963

Ogólne założenia analizy czynnikowej — sposób R i metodyka jej wykonywania przy badaniu populacji geologicznych zostały omówione w „Przeglądzie Geologicznym" w 1973 r., nr 1 (7). Analiza czynnikowa rozważanej serii glin była wykonywana dwukrotnie. Początkowo analizie poddano jej wszystkie cechy łącznie z głębokością, niezależnie od bezpośrednich związków, w celu szczegółowego badania struktury jako całości. Tabela I przedstawia macierz korelacji dla 15 parametrów fizycznych gliny zwałowej. Symbole parametrów zostały użyte zgodnie z symbolami przyjętymi przez Komitet Wykonawczy V Kongresu Międzynarodowego Stowarzyszenia Mechaniki Gruntów i Fundamentowania w Paryżu w 1961 r. Na podstawie macierzy korelacji opracowano diagram obrazujący liniową korelację między piętnastoma parametrami (ryc.). Współczynnik korelacji Pearsona przy 300 stopniach swobody, pozwalający uznać zależność za istotną wynosi 0,148 na poziomie 0,01. Z uwagi na występujące w badaniu 260 stopni swobody (261 prób) za zależność istotną uznano wartość 0,20.

Przy wykonywaniu analizy czynnikowej po raz drugi w celu dokładniejszego wybrania cech wiodących określających cały układ, wyselekcjonowano tylko te cechy, których wartości są w stosunkowo słabym i nieznanym związku, ale określają wszystkie pozostałe. Macierze analizy głównych czynników zostały przedstawione w tab. II. Główne czynniki po rotacji (tab. II, III, macierz B): F_I, F_{II}, F_{III}, F_{IV}, F_V wydają się odwzorowywać główne procesy, które warunkują układ strukturalny cech fizycznych badanej gliny i stanowią źródło wzajemnych zmienności. Z uwagi na ograniczenia objętości i charakter samego artykułu, podaje się tu jedynie sposób, w jaki należy czytać wyniki analizy dla identyfikacji zespołu następujących po sobie procesów, które doprowadziły do takiego układu zmienności parametrów opisujących badany kompleks gliny. Tak więc: czynnik F_I z wartością własną = 2,39 stanowi najważniejsze źródło zmienności obejmując około 27% ogólnej wariancji. W czynniku tym zapisany jest zespół procesów wpływających na układ frakcji: piaskowo-pyłowa i w minimalnym stopniu iłowa oraz na granice: plastyczności i płynności bez wyraźnych zmian w ciężarach i wilgotności. Uwagę zwraca fakt, iż układ wartości własnych i procentów zmienności na poszczególnych czynnikach jest bardzo symptomatyczny dla tego typu genetycznego. Właściwie trudno wskazać na wyraźny priorytet ważności procesów zapisanych w czynnikach, co dla innych typów genetycznych jest sprawą na ogół dużo prostszą. Zwykle najintensywniej działające procesy zawarte są w czynniku I.

Cechy wiodące określające cały układ są wyraźnie czytelne w tabeli II (macierz B). Są nimi: frakcja piaskowa, iłowa, wilgotność naturalna, frakcja żwirowa oraz ciężar objętościowy. One to stanowią „wagowo" główny udział w poszczególnych czynnikach warunkujących zmienność całego układu cech. Wagi te wyrażone liczbowymi wartościami zostały w macierzy B (tab. II) odpowiednio zakreślone. Cechy wiodące, wynikające z analizy czynnikowej, stanowiły podstawę obliczenia regresji wielorakiej według modelu liniowego:

$$Y = a(Y) + b_1x_1 + b_2x_2 + \ldots b_5x_5$$

gdzie: Y — wartość określanej cechy (parametru) wyjaśniona przez liniową funkcję regresji,
b_1 — cząstkowe współczynniki regresji (średni przyrost zależnej cechy Y na jednostkę przyrostu cechy niezależnej x_1),
x_1 — wartości cech wiodących w danej próbie,
a (Y) — wyraz wolny.

Równania regresji wielorakiej zostały obliczone programem opracowanym przez K. Styś z Zakładu Obliczeń Numerycznych Uniwersytetu Warszawskiego w języku ALGOL na EMC Odra dla 3 cech wydających się jednymi z najważniejszych dla oceny gliny jako podłoża budowlanego: stopnia plastyczności, wskaźnika plastyczności oraz porowatości:

$$I_L = -2{,}071 + 0{,}007P + 0{,}013I + 0{,}103W + 0{,}007\dot{Z} + 0{,}158\gamma$$

$$I_p = 15{,}320 + 0{,}218P + 0{,}157I + 0{,}042W - 0{,}618\dot{Z} + 3{,}016\gamma$$

$$n = 93{,}480 + 0{,}027P + 0{,}069I + 0{,}716W + 0{,}131\dot{Z} - 35{,}610\gamma$$

Porównanie liczbowych wartości: stopnia plastyczności, wskaźnika plastyczności oraz porowatości uzyskanych badaniami laboratoryjnymi z wartościami wynikającymi z obliczeń tych cech w funkcji wyróżnionych w analizie czynnikowej cech wiodących znajdzie czytelnik w pracy autorki (6, s. 282). Próbki dla obliczeń porównawczych zostały wybrane losowo. Analiza różnic wydaje się wskazywać, iż obliczenia można przyjąć z wystarczającą dla praktyki dokładnością. Cechy wiodące stanowią oś główną całego układu w korelogramie (ryc.).

WYRÓŻNIENIE CECH WIODĄCYCH ZE ZBIORU ZMIENNYCH OKREŚLAJĄCYCH POPULACJĘ GEOLOGICZNĄ ZDARZENIOWĄ

W pracy „Próba zastosowania analizy wariancji do określenia przyczyn zmienności stanów zwierciadła wód gruntowych" D. Małecka (2) udowodniła, iż analiza czynnikowa może być użyta jako działanie pomocnicze w pierwszej fazie budowania modelu stochastycznego. Problem, którego rozwiązanie planuje się na najbliższe lata ma doprowadzić do opracowania modelu procesu stochastycznego, ujmującego statystykę zmian zwierciadła wód gruntowych w obrębie górskich dolin rzecznych. Jako cechy (zmienne) opisujące wahania zwierciadła wód gruntowych założono:

— opady (w mm),
— poziom zwierciadła wody w rzece (w cm),
— temperaturę wody w studni (w °C),
— ciśnienie powietrza (w mm Hg),
— wilgotność powietrza (w %),
— temperaturę powietrza (w °C),
— liczbę Wolfa (plamy na słońcu).

Analizę czynnikową w tym przypadku wykonywano również dwukrotnie:

— dla całego 6-letniego cyklu pomiarów,
— dla okresu zwyżek wiosennych.

Dla cyklu 6-letniego cechami głównymi „wiodącymi", determinującymi zmienność okazały się: wilgotność powietrza, poziom zwierciadła wody w rzece i opady. Dla zwyżek wiosennych: liczba Wolfa, poziom zwierciadła wody w rzece, ciśnienie powietrza.

Analiza przeprowadzona przez D. Małecką posłużyła jako wyjściowy materiał podstawowy dla opracowania przez tę autorkę i I. Wiatr wstępnych założeń do symulacji zmian zwierciadła wód gruntowych w modelu procesu stochastycznego (3).

LITERATURA

1. Czarnik J. — Paleogeografia okolic Turka w górnym trzeciorzędzie i plejstocenie. Studia geol. pol., vol. 40. Wyd. Geol., 1972.
2. Małecka D. — Trial use of Variance analysis for determining the course of variability in groundwater-table fluctuation. Biul. geol. UW, 1973, nr 16.
3. Małecka D., Wiatr I. — Założenia do modelu koncepcyjnego symulacji wahań zwierciadła wód podziemnych jako wstęp do budowy modelu stochastycznego. Ibidem, nr 20 (w druku).
4. Różycki S. Z. — Dynamiczne uławicenie glin zwałowych i inne procesy w dennej części moren lądolodów czwartorzędowych. Acta geol. pol., 1970, vol. 20, nr 3.
5. Styś K. — Odra ALGOL program dla obliczania regresji wielorakiej. Arch. Z.O.N. UW. (maszynopis), 1970.
6. Wiatr I. — Model statystyczny wybranych cech środowiska inżynierskо-geologicznego kopalnych dolin Przykony i Małgorzaty w okolicy Turka. Biul. geol. UW, 1972, nr 15.
7. Wiatr I., Stenzel P. — Analiza czynnikowa — sposób R. Prz. geol. 1973, nr 1.
8. Wiatr I., Stenzel P. — Metodyka zastosowań matematycznego modelu liniowego do analizy map geologicznych. Ibidem 1973, nr 8—9.

SUMMARY

Factor analysis, R mode and orthogonal rotation was used as a method for studies on structural pattern of physical properties of Mid-Poland Glaciation boulder clays from the Turek area. On the basis of „leading features" distinguished, which seemed to define the whole pattern, equations of multiple regression were formed to test whether or not these properties can serve as a base for estimating other properties as their functions.

The factor analysis was treated both as a means of obtaining statistical model of subject geological population, and as an auxiliary tool for distinguishing significant physical parameters (features), subsequently used as a basis in the analysis of factors resulting in groundwater table fluctuations over the areas of valleys of mountain streams.

РЕЗЮМЕ

Факторный анализ способом *P* и ортогональной ротацией был применен в исследовании структурных условий валунных глин среднепольского оледенения в районе г. Турек. На основании главных признаков были составлены уравнения многократной связи с целью проверки пригодности этих признаков для определения других, зависящих от них свойств.

Факторный анализ рассматривался в качестве средства получения статистической модели генеральной геологической совокупности и в качестве вспомогательного способа определения физических параметров, которые могут послужить основой в анализе причин колебания зеркала грунтовых вод в долинах горных рек.