

MAREK NIEĆ*, ZBIGNIEW KOKESZ*, MICHAŁ GIENKA**,
MARIA DOLIK*

Akademia Górniczo-Hutnicza,* Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa**

ZASTOSOWANIE METOD GEOSTATYSTYCZNYCH DO BADANIA ZŁÓŻ KRUSZYWA NATURALNEGO***

UKD 553.62.04:519.2

CEL BADAŃ

Celem opracowania jest rozpatrzenie możliwości zastosowania metod matematycznych do opisu złóż kruszywa naturalnego, a zwłaszcza metod geostatystycznych do szacowania zasobów, oceny parametrów jakościowych i wyznaczania gęstości sieci rozpoznawczej. Pierwsze próby w tym kierunku podejmowali: T. Musiał (5, 6), S. Kozłowski i J. Pawłowska (2) oraz K. Miszewski (4). Prace te zmierzały do ustalenia gęstości sieci rozpoznawczej na podstawie analizy zmienności parametrów złoża, przede wszystkim parametrów jakościowych, przy założeniu losowego modelu tej zmienności.

Założenie losowego modelu zmienności wydaje się zbyt dużym uproszczeniem. Warunki, w jakich następowała akumulacja materiału okruszowego, pozwalają przypuszczać, że w zmienności parametrów złoża powinien wyraźnie zaznaczać się składnik nielosowy. Celem niniejszej pracy jest zatem zbadanie, w jakim stopniu zaznacza się nielosowe zróżnicowanie parametrów złoża, jaka jest struktura tej zmienności i jej model.

Badania przeprowadzono na dwu przykładowych złożach wodnolodowcowych. Objęły one:

- 1) podstawową charakterystykę statystyczną parametrów złożowych;
- 2) analizę trendów;
- 3) badania wariogramów empirycznych i wybór teoretycznego modelu wariogramu.

Wyprowadzone wnioski dotyczą:

- 1) celowości wprowadzenia metod matematycznych do opisu złóż w dokumentacji geologicznej;
- 2) możliwości wprowadzenia uproszczonych metod badania złóż kruszywa, zwłaszcza zmniejszenie gęstości sieci rozpoznawczej;
- 3) możliwości zastosowania kriginu do obliczania zasobów złóż kruszywa i oceny średnich wartości parametrów złoża.

CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNA BADANYCH ZŁÓŻ

Do badań wytypowano 2 złoża: Potasznia III i Rybaki II (ryc. 1). O ich wyborze zdecydowała duża liczba otworów, za pomocą których zostały one rozpoznane. Umożliwia to uzyskanie wyników nie obciążonych niepełnością, że są one niewłaściwe z powodu małej ilości danych.

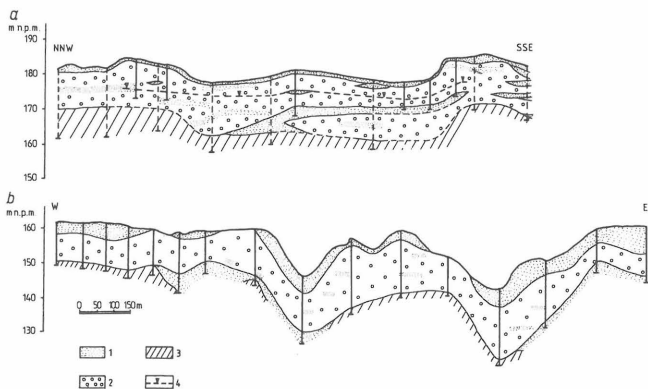
Złoże kruszywa naturalnego Potasznia III jest położone w obrębie sandru suwalskiego, stanowiącego północną

***Pracę wykonano w ramach CPBR 1.7

część wielkiej równiny sandrowej, zwanej sandrem suwalsko-augustowskim. Seria osadów wodnolodowcowych wieku zlodowacenia północnopolskiego leży na glinie zwałowej i miejscami piaskach drobnoziarnistych. Ogólnie wykazuje ona budowę dwudzielną, której elementem rozdzielaającym jest poziom piasków o zmiennej miąższości 0–9 m i zmiennym rozprzestrzenieniu. Wody roztopowe, niosące materiał klastyczny, cechowała duża szybkość nurtu i silnie obciążenie materiałem. W kierunku południowym występuje wyraźne drobnienie frakcji osadów, tak że już w rejonie jeziora Wigry – w kompleksie górnym – zaczyna dominować frakcja piaszczysta.

W obrębie sandru udokumentowano i zarejestrowano 12 złóż kruszywa naturalnego. Złoże Potasznia III, udokumentowane w kategorii $C_1 + B$, jest położone na krawędzi. Dla celów dokumentacyjnych wykonano tu 178 otworów badawczych. Dokumentacja obejmuje tylko górną część złoże do poziomu wód gruntowych. W opracowaniu rozpatrzono zatem zmienność parametrów tylko tej, nie zawodnionej części złoże. Nowsze wiercenia rozpoznawcze wykonane do spągu złoże nie zostały wykorzystane. Zasoby złoże wynoszą 28,6 mln t. Złoże jest nie eksploatowane, granice jego są sztuczne, prowadzone wzdłuż filarów ochronnych.

Złoże kruszywa naturalnego Rybaki II, udokumentowane w kategorii $C_1 + B$, jest położone w obrębie Pojezierza Kaszubskiego, w gminie Kościerzyna w woj. gdańskim. Obszar udokumentowany znajduje się we wschodniej części rozległego płata osadów wodnolodowcowych (sandr Brdy – Wdy), ograniczonego od zachodu, północy i wschodu morenami czołowymi fazy pomorskiej zlodowacenia północnopolskiego. Sandr stanowi fragment tzw. kaszubskiej bramy wpływu wód roztopowych, funkcjonującej przez kilka kolejnych etapów deglacjacji (od nasunięcia maksymalnego do subfazy kaszubsko-warminskiej). Świadczy o tym kilka poziomów akumulacyjnych istniejących w poszczególnych partiach sandru. Wody roztopowe akumulowały tu dość typową sekwencję osadów stożka sandrowego, osadzając w pobliżu bramy wypływu znaczne ilości osadów grubookruchowych – żwirów i otoczków, przenosząc ku południowi coraz drobniejszy materiał.



Ryc. 1. Przekroje przez złoże Potasznia III (a) i Rybaki II (b)

1 – piaski, 2 – piaski ze żwirem, 3 – gliny zwałowe, 4 – zwierciadło wód gruntowych

Fig. 1. Cross sections through Potasznia III (a) and Rybaki II (b) deposits

1 – sands, 2 – sand with gravel, 3 – boulder clay, 4 – ground water level

W obrębie sandru Brdy – Wdy udokumentowano i zarejestrowano 17 złóż kruszywa naturalnego grubego (piaszczysto-żwirowego) i 3 złoże piasków budowlanych. Złoże Rybaki II należy do największych w tym rejonie. Pierwotne jego zasoby wynosiły 34,5 mln t surowca o punkcie piaskowym (zawartości frakcji poniżej 2,5 mm) ok. 47%. Zaktualizowane, po wyeksploatowaniu znacznych partii złoże zasoby wynoszą 21,5 mln t. Złoże rozpoznano za pomocą 238 otworów wiertniczych. Do celów niniejszej analizy wykorzystano dane ze 175 otworów, w których stwierdzono występowanie serii złożewej i zbadano ją laboratoryjnie. Granice złoże w większości są sztuczne, wzdłuż filarów ochronnych.

ZAKRES BADAŃ

Badania objęły podstawowy opis statystyczny parametrów złoże, analizę za pomocą aproksymacji wielomianami stopnia 1 do 6 oraz opis geostatystyczny zmienności za pomocą wariogramów. Metodykę tych badań przedstawiono w licznych publikacjach, w związku z czym jej nie przedstawiamy. Jako pomocnicze wykonano komputerową interpretację map izolinii parametrów złoże. Prace obliczeniowe wykonano na EMC CYBER w ośrodku obliczeniowym AGH na podstawie własnych programów.

CHARAKTERYSTYKA ZMIENNOŚCI ZŁÓŻ

Dane

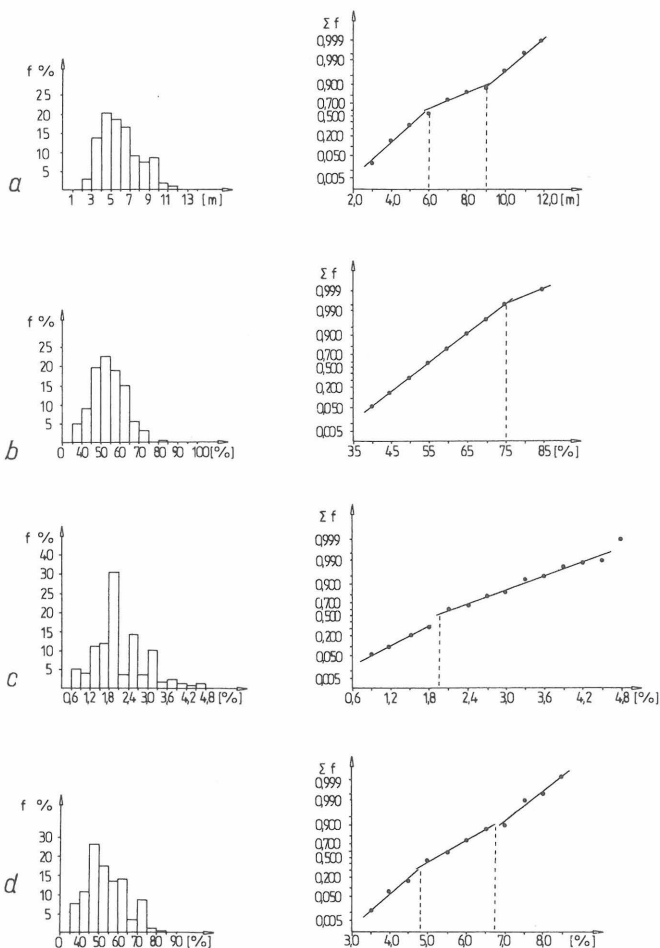
Zrealizowane badania (7) mają charakter rekonensansowy, w związku z czym analizowano tylko wybrane parametry złoże, w celu zorientowania się w charakterze ich zmienności i określenia zasad postępowania w jej badaniu. Wykorzystano dane z otworów wiertniczych, wykonywanych dla udokumentowania złoże: w złoże Potasznia III z 178 otworów w kat. C_1 i B (minimalna odległość między otworami ok. 100 m), w złoże Rybaki II z 174 otworów w kategorii C_1 (minimalna odległość między otworami ok. 75 m). Badane parametry zestawiono w tab. I.

Zmienność parametrów złoże Potasznia

Rozkłady badanych parametrów przedstawiono na ryc. 2. W tab. II zestawiono podstawowe parametry statystyczne i wyniki weryfikacji normalności rozkładów.

Tabela I
BADANE PARAMETRY ZŁÓŻ

Parametry	Złoże	
	Potasznia III	Rybaki II
Liczba otworów	178	174
Miąższość	+ (do poziomu wód gruntowych)	+ (całkowita)
Punkt piaskowy	+	+
Zawartość frakcji pyłowej	+	+
Zawartość frakcji ponad 40 mm		+
Zawartość ziarn kwarcu	+	
Zawartość ziarn słabych		+
Zawartość ziarn wydłużonych i płaskich		+
Nasiąkliwość		+



Ryc. 2. Histogramy i wykresy rozkładów na siatce probabilistycznej badanych parametrów złoża Potasznia III

a – miąższość złoża, b – punkt piaskowy, c – zawartość frakcji pyłowej, d – zawartość ziarn kwarcu

Miąszość złoża Potasznia ma rozkład zbliżony do normalnego i nie ma podstaw do odrzucenia takiej hipotezy. Niemniej na histogramie i wykresie na siatce probabilistycznej zaznacza się niezbyt wyraźna jego dwumodalność z modami 4–5 i 9–10 m. Za wartość rozgraniczającą obie populacje można przyjąć wartość ok. 7 m. Ponieważ miąższość złoża jest określona tylko do zwierciadła wód gruntowych, obserwowana słabo zaznaczona dwumodalność jest spowodowana zróżnicowaniem morfologii terenu.

Zmienność miąższości jest umiarkowana, $V = 33\%$. Zawartość frakcji piaskowej i punkt piaskowy mają rozkłady symetryczne, wyraźnie zbliżone do normalnego. Zmienność jest mała, $V = 16\%$.

Histogramy zawartości frakcji pyłowej i ziarn kwarcu są wizualnie bardziej nieregularne. W przypadku zawartości ziarn kwarcu nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu ich zawartości. Mała też jest jej zmienność, $V = 19\%$. Natomiast rozkład zawartości frakcji pyłowej wyraźnie odbiega od rozkładu normalnego. Parametr ten cechuje się też dość dużą zmiennością, $V = 38\%$.

Analiza trendów. Wyniki przeprowadzonej analizy trendów przedstawiono w tab. III. Jedynie w odniesieniu do miąższości wyraźnie zaznacza się trend w jej zróżnicowaniu (ryc. 3). Współczynnik determinacji dochodzi do 50%. Istotny statystycznie jest trend opisany tylko wielomianami 1–4 stopni.

Jeśli idzie o pozostałe parametry, to trend w ich zróżnicowaniu zaznacza się bardzo słabo. Dla powierz-

Fig. 2. Histograms and cumulative frequency plots on probability net of studied parameters of Potasznia III deposit

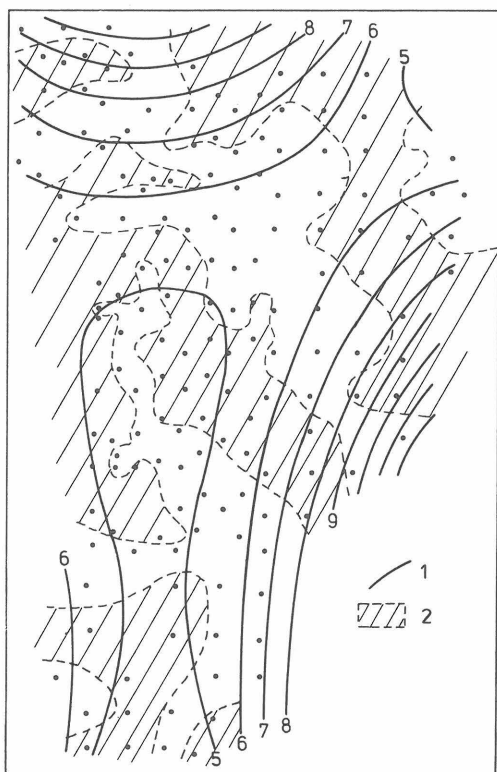
a – deposit thickness, b – "sand index" (the content of grains below 2.5 mm), c – silt content, d – the content of quartz grains

Tabela II

PARAMETRY STATYSTYCZNE ROZKŁADÓW BADANYCH PARAMETRÓW
ZŁÓŻ KRUSZYWA NATURALNEGO

Złoże	Parametr	Liczba danych	Parametry statystyczne								
			\bar{x}	S^2	S	V	A	E	Q_1	Q_2	N
Potasznia III	miąższość złoża (m)	178	5,95	3,97	1,99	33,4	0,51	-0,45	2,77	1,22	+
	punkt piaskowy (%)	178	54,03	74,76	8,65	16,0	0,19	-0,17	1,03	0,46	+
	pyły (%)	178	2,08	0,61	0,78	37,5	0,63	0,55	3,43	1,50	-
	kwarc (%)	178	5,36	1,06	1,03	19,2	0,42	-0,40	2,29	1,09	+
Rybaki II	miąższość złoża (m)	168	10,13	12,20	3,49	34,4	0,36	-0,24	1,90	0,63	+
	punkt piaskowy (%)	174	49,60	75,51	8,69	17,5	-0,11	-0,36	0,59	0,97	+
	nadziarno (%)	163	6,43	14,68	3,83	59,6	2,94	11,67	15,33	30,42	-
	pyły (%)	163	1,11	1,16	1,08	97,3	6,43	58,18	33,53	151,65	-
	ziarna słabe (%)	147	4,38	2,9V	1,70	38,8	0,41	0,52	2,03	1,29	+
	ziarna wydłużone i płaskie (%)	163	1,39	7,73	2,78	200,00	3,04	11,86	15,85	30,91	-
	nasiąkliwość	163	1,52	0,17	0,41	27,0	-0,57	0,46	2,97	1,20	+

Objaśnienia: \bar{x} – wartość średnia, S^2 – wariancja, S – odchylenie standardowe, V – współczynnik zmienności, A – współczynnik asymetrii, E – współczynnik ekscesu, Q_1, Q_2 – wartość statystyk asymetrii i ekscesu (wg Szarapowa), N – wynik testu normalności rozkładu (znak „+” oznacza brak podstaw do odrzucania hipotezy o rozkładzie normalnym parametru na poziomie istotności $\alpha = 0,01$).

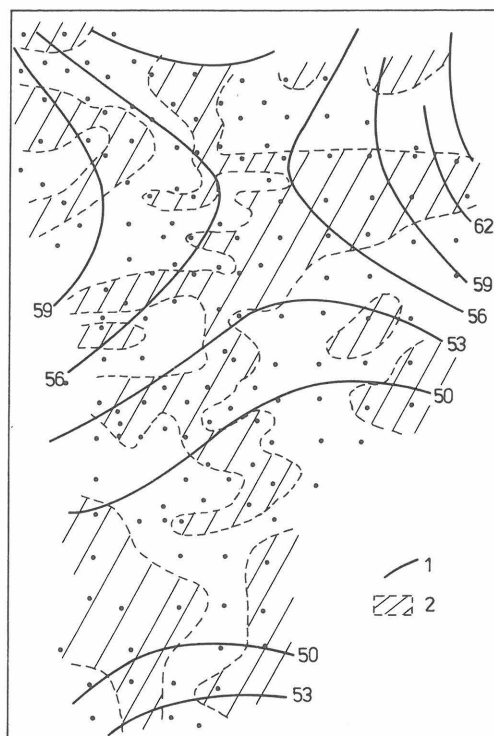


Ryc. 3. Mapa trendu miąższości złoże Potasznia III

1 — izoliny powierzchni trendu 3-go stopnia, 2 — obszary dodatnich odchyłek od trendu

Fig. 3. Thickness trend map of Potasznia III deposit

1—3rd degree polynomial trend surface isolines, 2 — areas of positive deviations from trend



Ryc. 4. Mapa trendu punktu piaskowego — złoże Potasznia III

1 — izoliny powierzchni trendu 3-go stopnia, 2 — obszary dodatnich odchyłek od trendu

Fig. 4. "Sand index" trend map of Potasznia III deposit

1—3rd degree polynomial trend surface isolines, 2 — areas of positive deviations from trend

Tabela III

WYNIKI ANALIZY TRENDÓW PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW ZŁOŻA POTASZNIA III

Parametr	Liczba danych	Podstawowe charakterystyki trendu	Stopień wielomianu (P)					
			1	2	3	4	5	6
Miąższość	178	$\eta\%$	14,7	28,6	39,6	47,3	50,7	53,4
		F_1	15,21	13,85	12,31	10,51	8,11	6,40
		F_2	—	11,19	7,70	4,79	1,80	1,25
Punkt piaskowy	178	$\eta\%$	7,6	10,6	18,2	21,7	23,1	25,1
		F_1	7,26	4,08	4,18	3,25	2,37	1,88
		F_2	—	1,89	3,96	1,48	0,45	0,59
Zawartość frakcji pyłowej	178	$\eta\%$	0,3	2,1	11,5	15,1	21,3	23,1
		F_1	0,30	0,74	2,45	2,08	2,13	1,68
		F_2	—	1,04	4,51	1,36	2,08	0,51
Zawartość ziarn kwarcu	178	$\eta\%$	0,9	9,2	10,8	11,5	12,3	19,3
		F_1	0,84	3,50	2,27	1,51	1,11	1,33
		F_2	—	5,23	0,75	0,25	0,26	1,86
$F_{kryt. 0,05_{pn}}$ *			3,06	2,28	1,95	1,80	1,65	1,60
$F_{kryt. 0,05_{p+1}}$ **				2,67	2,44	2,28	2,17	2,08

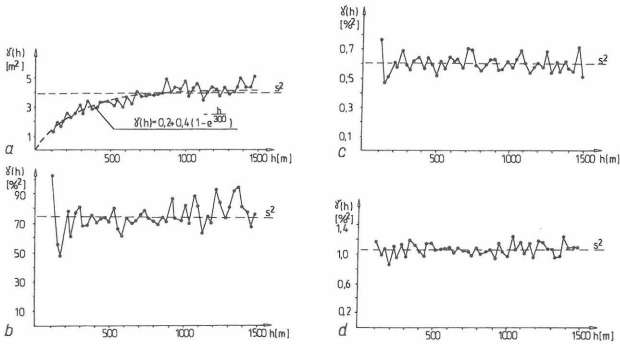
η — współczynnik determinacji, F — wartość statystyki F Snedecora: F_1 — dla powierzchni trendu stopnia p , F_2 — dla przyrostu „dopasowania” powierzchni trendu stopnia $p+1$.

* — wartość krytyczna testu F dla powierzchni trendu stopnia p .

** — wartość krytyczna testu F dla przyrostu „dopasowania” powierzchni stopnia $p+1$.

chni trendu statystycznie istotnych współczynnik determinacji nie przekracza 20%. W zróżnicowaniu tych parametrów zaznacza się zatem wyraźnie składnik losowy. Na ogół tylko jedna lub co najmniej dwie powierzchnie mogą być uznane za statystycznie istotne (ryc. 4).

Wariogramy parametrów złoza i ich modele teoretyczne. Wariogram miąższości złoza (ryc. 5a) ujawnia nielosowy charakter zmienności przy obserwacjach odległych od siebie mniej niż ok. 800 m. Uzyskany wariogram empiryczny dobrze aproksymuje model eksponencjalny.



Ryc. 5. Semiwariogramy podstawowych parametrów złoza Potasznia III

a – miąższość złoza, b – punkt piaskowy, c – zawartość frakcji pyłowej, d – zawartość ziarn kwarcu

Fig. 5. Semivariograms of deposit parameters Potasznia III

a – deposit thickness, b – "sand index", c – silt content, d – quartz grains content

Wariogramy pozostałych parametrów (ryc. 5b–5d), charakteryzujących jakość kruszywa, mają typowy charakter losowy. W odniesieniu do punktu piaskowego, można się dopatrywać słabo zaznaczonej tendencji wzrostu wariogramu przy odległości między punktami obserwacji większej od ok. 100 m. Jest to być może odzwierciedleniem zróżnicowania składu ziarnowego kruszywa, jakie można obserwować w skali regionalnej. Jej istnienie ujawnia również analiza trendów. Prawidłowości te w granicach badanego złoza są jednak tak słabo zaznaczone, że praktycznie można je pominąć.

Zmienność parametrów złoza Rybaki II

Rozkłady badanych parametrów złoza przedstawiono na ryc. 6. Podstawowe parametry statystyczne i wyniki weryfikacji hipotezy o normalności rozkładu są zawarte w tab. II.

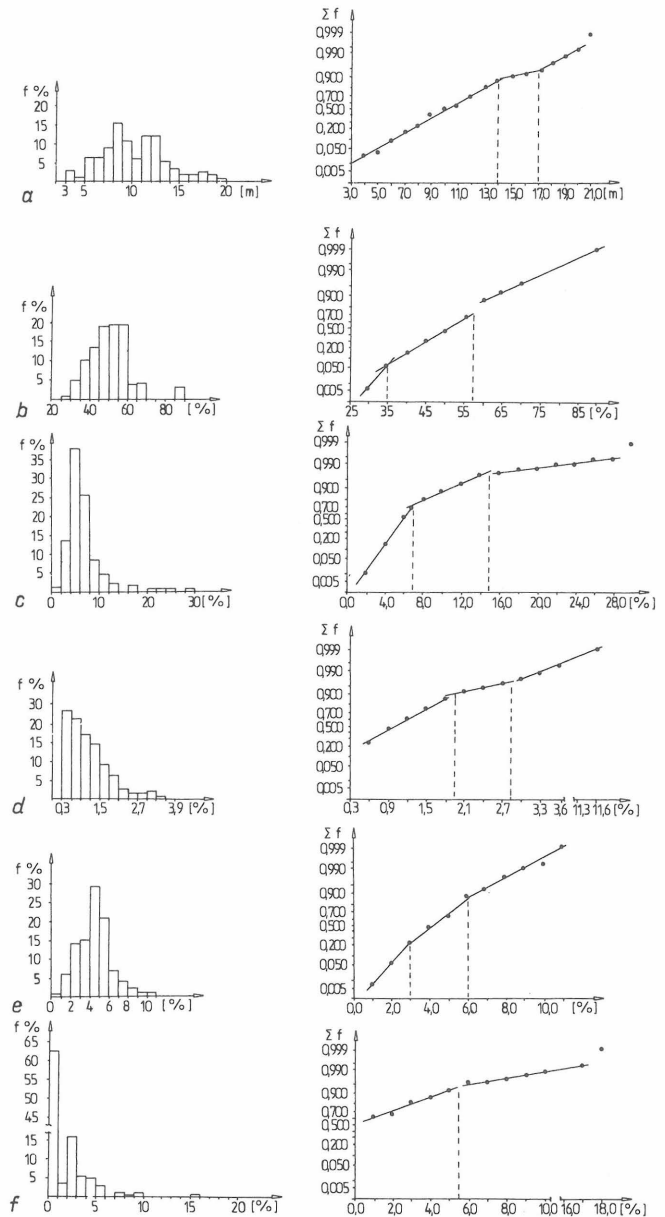
Miąższość złoza Rybaki ma rozkład ujawniający na histogramie wielomodalność. Na podstawie wielkości współczynników asymetrii i ekscesu nie ma jednak podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności tego rozkładu. Złożony charakter rozkładu ujawnia się również na siatce probabilistycznej. Na histogramie zaznaczają się trzy wartości modalne: 8–9 m, 11–13 m i 17–18 m, a za graniczne wartości miąższości rozdzielające subpopulacje obserwacji miąższości można przyjąć 10 m i 15 m. Zmienność miąższości jest umiarkowana, $V = 34\%$.

Zawartość frakcji piaskowej (punkt piaskowy) ma rozkład zbliżony do normalnego. Zmienność jego jest mała, $V = 17\%$. Rozkłady skrajnych frakcji ziarnowych („pyły” i „nadziarno”) są skośne dodatnio. Zmienność obu tych parametrów jest duża (współczynniki zmienności odpowiednio 60 i 93%).

Skośny dodatnio jest również rozkład zawartości

ziarn wydłużonych i płaskich, a zmienność ich zawartości skrajnie duża, $V = 200\%$. Są one bardzo nieregularnie rozmieszczone w złożu. W odniesieniu do rozkładów pozostałych dwu badanych parametrów: zawartości ziarn słabych i nasiąkliwych, nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności ich rozkładów. Są one zbliżone do symetrycznych ze słabo zaznaczoną dwumodalnością dla nasiąkliwości. Zmienność obu tych parametrów jest umiarkowana.

W siatce probabilistycznej we wszystkich przypadkach można zauważyć w różnym stopniu zaznaczoną

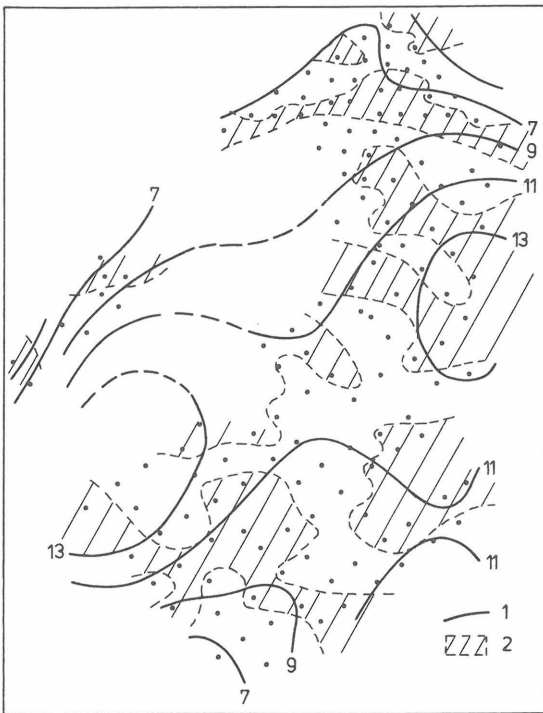


Ryc. 6. Histogramy i wykresy rozkładów na siatce probabilistycznej badanych parametrów złoza Rybaki II

a – miąższość złoza, b – punkt piaskowy, c – zawartość frakcji ponad 40 mm, d – zawartość frakcji pyłowej, e – zawartość ziarn słabych, f – zawartość ziarn wydłużonych i płaskich

Fig. 6. Histograms and cumulative frequency plots on probability net of studied parameters of Rybaki II deposit

a – deposit thickness, b – "sand index", c – content of grains over 40 mm size, d – silt content, e – content of weak grains, f – content of elongated and flat grains



nieliniowość przebiegu wykresu częstości skumulowanej badanych parametrów. Sugeruje to, że rozkłady te mogą być złożone, co daje się już zauważyć na histogramach.

Analiza trendów. Wyniki przeprowadzonej analizy trendów przedstawiono w tab. IV. Jedynie dla miąższości wyraźnie zaznacza się trend w jej zróżnicowaniu. Współczynnik determinacji dochodzi do 46%. Istotny statystycznie jest trend opisywany wielomianami 1, 2 i 4 stopnia (ryc. 7).

W odniesieniu do pozostałych parametrów charakteryzujących jakość kruszywa, trend albo nie zaznacza się w ogóle, albo zaznaczony jest bardzo słabo, przy czym współczynniki determinacji wynoszą tylko kilka procent (poniżej 10%). W zróżnicowaniu tych parametrów zaznacza się zatem wyraźnie składnik losowy.

Ryc. 7. Mapa trendu miąższości złoża Rybaki II

1 – izolinie powierzchni trendu 4-go stopnia, 2 – obszary dodatnich odchyłek od trendu

Fig. 7. Thickness trend map of Rybaki II deposit

1 – 4-th degree polynomial trend surface isolines, 2 – areas of positive deviations from trend

Tabela IV

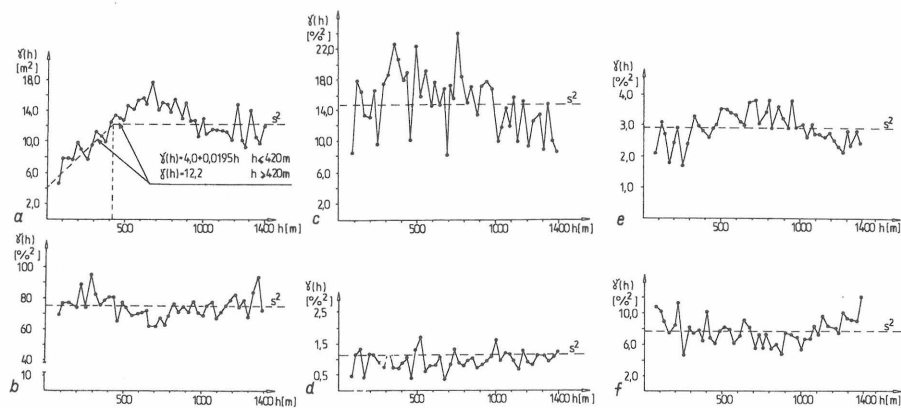
WYNIKI ANALIZY TRENDÓW PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW ZŁOŻA RYBAKI II

Parametr	Liczba danych	Podstawowe charakterystyki trendu	Stopień wielomianu (p)					
			1	2	3	4	5	6
Miąższość	168	$\eta\%$ F_1 F_2	7,7 6,03 —	24,4 9,17 10,47	28,3 6,07 1,90	40,6 6,49 5,47	46,0 5,40 2,11	49,2 4,30 1,82
Punkt piaskowy	174	$\eta\%$ F_1 F_2	1,8 1,36 —	2,0 0,59 0,09	8,6 1,44 2,47	12,5 1,36 1,19	16,4 1,24 0,98	20,8 1,16 0,95
Udział % ziarn ponad 40 mm	163	$\eta\%$ F_1 F_2	1,0 0,76 —	7,5 2,31 3,33	9,8 1,66 0,85	14,0 1,54 1,30	15,1 1,13 0,28	21,3 1,20 1,34
Zawartość frakcji pyłowej	163	$\eta\%$ F_1 F_2	2,2 1,62 —	8,9 2,79 3,51	12,2 2,14 1,30	14,4 1,60 0,67	21,1 1,70 1,81	24,0 1,40 0,63
Zawartość ziarn słabych	147	$\eta\%$ F_1 F_2	1,37 3,02 —	4,4 3,29 0,17	7,3 1,21 1,11	12,6 1,37 1,62	19,2 1,51 1,71	21,2 1,20 0,44
Zawartość ziarn wydłużonych i płaskich	163	$\eta\%$ F_1 F_2	0,4 0,32 —	0,6 0,17 0,08	1,5 0,23 0,31	6,1 0,61 1,29	8,5 0,59 0,57	12,7 0,65 0,83
Nasiąkliwość	147	$\eta\%$ F_1 F_2	4,6 3,53	6,4 1,93 0,87	6,8 1,11 0,15	14,7 1,65 2,50	20,9 1,68 1,63	22,1 1,25 1,24
$F_{kryt\ 0,05p}^*$			3,06	2,28	1,95	1,80	1,65	1,60
$F_{kryt\ 0,05p+1}^{**}$				2,67	2,44	2,28	2,17	2,08

η – współczynnik determinacji, F – wartość statystyki F Snedekora: F_1 – dla powierzchni trendu stopnia p , F_2 – dla przyrostu „dopasowania” powierzchni trendu stopnia $p+1$.

* – wartość krytyczna testu F dla powierzchni trendu stopnia p .

** – wartość krytyczna testu F dla przyrostu „dopasowania” powierzchni stopnia $p+1$.



Ryc. 8. Semiwariogramy podstawowych parametrów złoża Rybaki II

a – miąższość złoża, b – punkt piaskowy, c – zawartość frakcji ponad 40 mm, d – zawartość frakcji pyłowej, e – zawartość ziarn słabych, f – zawartość ziarn wydłużonych i płaskich

Fig. 8. Semivariograms of deposit parameters Rybaki II

a – deposit thickness, b – "sand index", c – content of grains over 40 mm size, d – silt content, e – content of weak grains, f – content of elongated and platy grains

Wariogramy parametrów złoża i ich modele teoretyczne. Wariogram miąższości (ryc. 8a) ujawnia nielosową jej zmienność w przypadku obserwacji odległych od siebie o mniej niż 400 m. W przypadku większych odległości między obserwacjami można przyjąć, że ich zróżnicowanie ma charakter losowy. Przebieg wariogramu empirycznego może też sugerować występowanie zmienności okresowej. Dla jej wykrycia konieczne jednak byłoby objęcie obserwacjami znacznie większego obszaru. Wariogram empiryczny miąższości można aproksymować modelem liniowym Matherona. Wariogramy pozostałych badanych parametrów (ryc. 8b–8f) mają postać typową dla zmienności losowej. Pozostaje to w zgodzie z wynikami analizy trendów, która praktycznie nie ujawniła istnienia nielosowego składnika zmienności.

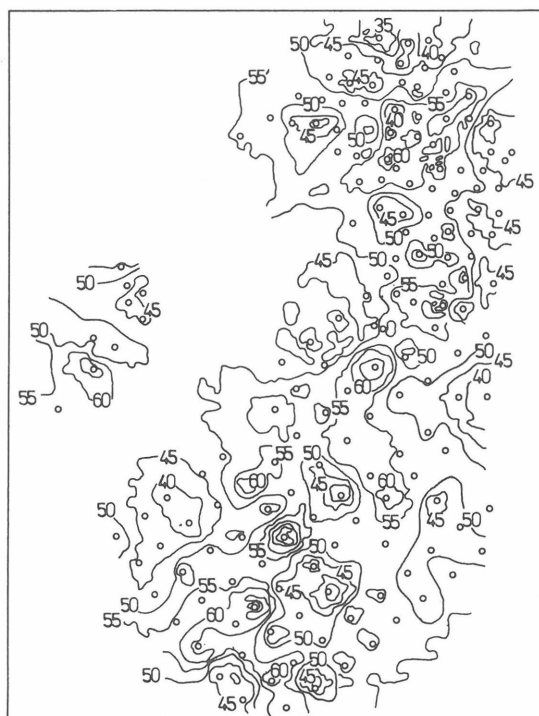
UWAGI OGÓLNE O ZMIENNOŚCI BADANYCH ZŁÓŻ

Oba badane złoże cechują się zbliżoną zmiennością miąższości i punktu piaskowego. Zmienność zawartości frakcji pyłowej w złożu Rybaki jest znacznie większa niż w Potaszn. Obliczone wartości V tych parametrów są też zbliżone do uzyskanych dla innych złożeń (5, 2).

Rozkłady zawartości frakcji piaskowej w badanych złożach wskazują na dość dużą ich jednorodność. Różnią się tym od wielu złożeń badanych przez T. Musiała (5) oraz S. Kozłowskiego i J. Pawłowską (2), w których histrogramy punktu piaskowego sugerują większą niejednorodność kruszywa. Być może wynika to ze sposobu zdefiniowania granic złożeń. Dla większych obszarowo złożeń należy oczekiwać większej niejednorodności kopaliny, w związku z pojawiającym się w skali regionalnej trendem zróżnicowania jej składu ziarnowego. Bardzo dużą (skrajnie dużą) zmiennością charakteryzuje się zawartość ziarn wydłużonych i płaskich w złożu Rybaki.

W obu złożach zmienność parametrów charakteryzujących jakość kopaliny ma charakter losowy. Jest to zjawisko nieco zaskakujące, gdyż można by było oczekiwać prawidłowości ich zróżnicowania wzdłuż kierunku transportu materiału okruszowego. Losowość ta wynika przypuszczalnie ze zróżnicowania siły transportującej wody spowodowanej lokalnymi czynnikami.

W zmienności miąższości w obu przypadkach wyraźnie zaznacza się nielosowy składnik jej zmienności i trend jej zróżnicowania. Wynika to ze zróżnicowania ilości



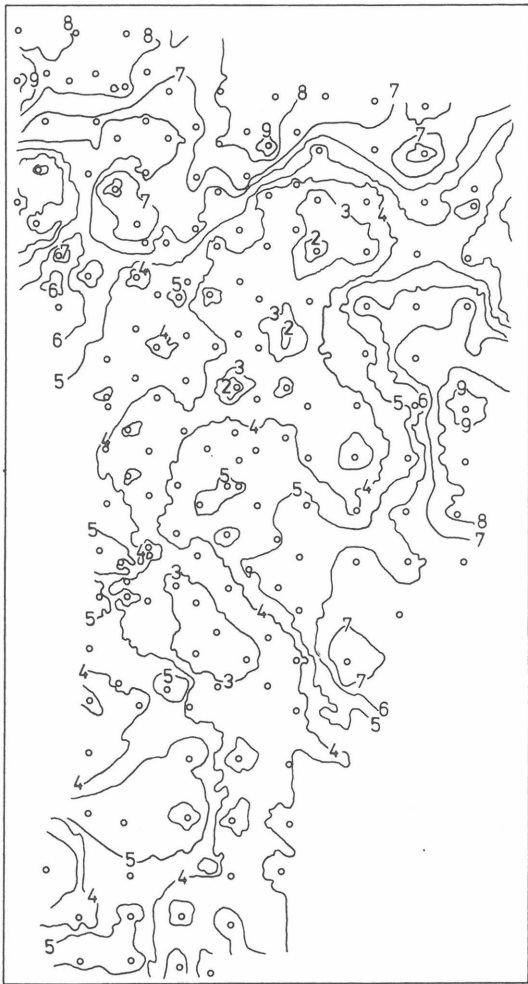
Ryc. 9. Mapa punktu piaskowego złoża Rybaki II

Fig. 9. Map of "sand index" Rybaki II deposit

akumulowanego materiału w zależności od odległości od brzegu lodowca oraz od morfologii podłoża i morfologii stropu złożeń. Empiryczne wariogramy miąższości aproksymują jednak dla obu złożeń różne modele. Wynika to prawdopodobnie z różnego sposobu zdefiniowania miąższości złożeń (w Potaszn tylko do poziomu wód gruntowych, w Rybakach w granicach litologicznych).

W odniesieniu do obu badanych złożeń dla oceny średnich wartości parametrów charakteryzujących jakość kruszywa oraz do oceny dokładności oszacowania tych średnich można stosować proste metody statystyczne. W przypadku szacowania średniej miąższości złożeń powinien być stosowany kriging pozwalający również w sposób właściwy określić dokładność oszacowania miąższości średniej.

Niecelowe jest przedstawienie na mapach zróżnicowania parametrów jakościowych kruszywa za pomocą



Ryc. 10. Mapa miąższości złoża Potasznia III

Fig. 10. Map of deposit thickness Potasznia III

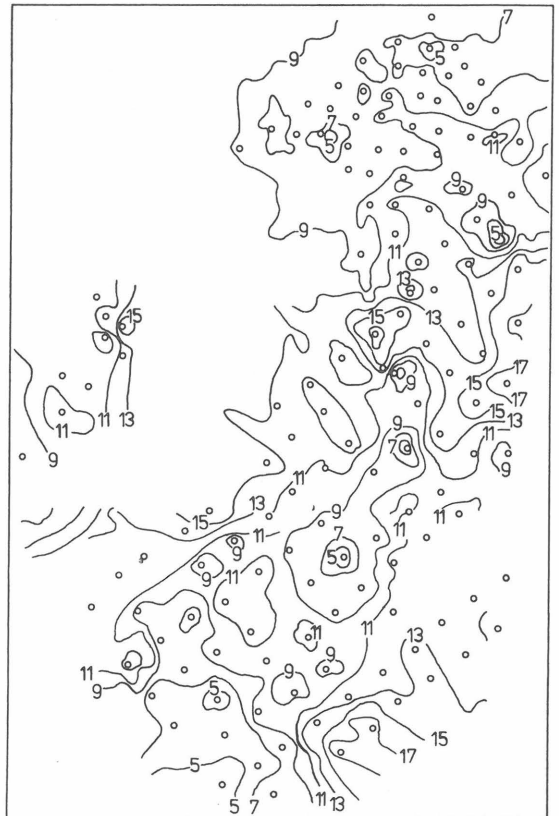
map izolinii. Ilustruje to przykładowa mapa punktu piaskowego złoża Rybaki (ryc. 9) przedstawiająca mozaikowy, przypadkowy obraz jego zróżnicowania. W odniesieniu do tych parametrów na mapie, co najwyżej powinny być pokazane izolinie tych wartości parametru, które są stosowane przy wyróżnianiu różnych rodzajów lub gatunków kruszywa. Gdy histogram parametru lub wykres jego rozkładu na siatce probabilistycznej sugeruje, że rozkład ten może być złożony, to celowe może być też wprowadzenie izolinii o wartości, którą można przyjąć jako rozgraniczającą rozkłady nałożone na siebie.

W zróżnicowaniu miąższości wyraźnie zaznacza się składnik nielosowy zmienności. Mapa izolinii miąższości ujawnia wyraźne tendencje w jej zróżnicowaniu (ryc. 10, 11). Sporządzanie takich map jest całkowicie uzasadnione.

Obecność wyraźnie zaznaczonego nielosowego składnika zmienności miąższości przy odległości między obserwacjami mniejszej od 400–800 m wskazuje, że dla rozpoznania złóż badanego typu można stosować rzadszą siatkę wierceń.

PROPOZYCJA METODYKI BADANIA ZMIENNOŚCI ZŁÓŻ KRUSZYWA I SPOSOBU WYKORZYSTANIA WYNIKÓW TYCH BADAŃ W DOKUMENTACJACH GEOLOGICZNYCH ZŁÓŻ

Przeprowadzone badania wskazują na celowość opracowania statystycznego i geostatystycznego wyników



Ryc. 11. Mapa miąższości złoża Rybaki II

Fig. 11. Map of deposit thickness Rybaki II

rozpoznania złóż kruszywa. Główne korzyści ich stosowania są następujące:

- 1) przedstawienie zbiorcze informacji o parametrach złoża w formie histogramu i charakterystyka ilościowa zróżnicowania wartości parametrów złoża (zmienności);
- 2) określenie charakteru zmienności parametrów i możliwość podjęcia decyzji odnośnie celowości wykonywania map izolinii parametrów złoża;
- 3) możliwość zastosowania krigingu w obliczaniu zasobów;
- 4) możliwość określenia dokładności oszacowania średnich wartości parametrów i dokładności oszacowania zasobów.

Tok opracowania wyników rozpoznania złoża powinien być następujący:

- 1) zestawienie histogramów parametrów złoża i przedstawienie rozkładów tych parametrów na siatce probabilistycznej;
- 2) obliczenie podstawowych parametrów rozkładu: średniej arytmetycznej, wariancji, odchylenia standardowego, współczynnika zmienności i ewentualnie — lecz nie obligatoryjnie — parametrów charakteryzujących asymetrię i okres rozkładu;
- 3) obliczenie wariogramów parametrów złoża i dobór modeli teoretycznych opisujących wariogramy empiryczne;
- 4) ocena celowości kreślenia map izolinii parametrów złoża i dla parametrów, których zmienność jest losowa a rozkład wielomodalny — wybór wartości izolinii, jakie powinny być przedstawione na mapie (na podstawie wykresów na siatce probabilistycznej i histogramów);
- 5) obliczenie zasobów przy zastosowaniu krigingu;
- 6) ocena dokładności oszacowania średnich wartości parametrów złoża i dokładności oszacowania zasobów;

7) określenie celowości zagęszczenia sieci rozpoznawczej, w celu oszacowania zasobów z żadaną dokładnością;

8) jako nieobligatoryjna może być dodatkowo stosowana analiza trendów, pokazująca ogólne tendencje różnicowania wartości parametrów złoża.

L I T E R A T U R A

1. G i e n t k a M., T o ł k a n o w i c z E., M i d a k A. — Program poszukiwań złóż kruszywa naturalnego w województwie gdańskim. Arch. PIG Warszawa, 1979.
2. K o z ł o w s k i Z., P a w ł o w s k a J. — Kwart. Geol., 1974 nr 4 s. 789—809.
3. M i c h a l a k Z., J o c h e m c z a k W. — Dokumentacja geologiczna złoża kruszywa naturalnego (piasku ze żwirami). Potasznia III w kat. C₁+B. Arch. PIG 1980.
4. M i s z e w s k i K. — Prz. Geol., 1974 nr 12 s. 617—620.
5. M u s i a ł T. — Techn. Poszuk., 1966 nr 18 s. 9—14.
6. M u s i a ł T. — Prz. Geol., 1968 nr 8 s. 373—379.
7. N i e ć M., K o k e s z Z. i in. — Zastosowanie metod geostatystycznych do badania złóż kruszywa naturalnego. Arch. CPPGSMiE PAN Kraków, 1987.
8. S o l c z a k E., S u r m a D. — Dodatek do dokumentacji geologicznej aktualizujący zasoby kruszywa naturalnego w kategorii C₁+B Rybaki II. Arch. PIG Warszawa, 1982.
9. T o ł k a n o w i c z E. — Opracowanie systematyki kruszywa naturalnego i metodyki badań w wybranych rejonach kruszywowych kraju. Rejon Sandru Suwałskiego. Arch. PIG Warszawa, 1985.

S U M M A R Y

Statistical and geostatistical methods were applied to the study of parameters variations of two natural aggregate deposits: Potasznia III and Rybaki II. The both

deposits, situated in northern Poland, are of fluvio-glacial origin formed during the last (Baltic) glaciation.

Notrandom component consists considerable part of thickness total variations of the both deposits. The parameters that characterise aggregate quality are randomly varied. Sometimes only a weak unrandom component can be recognized. Variograms are a useful tool for presentation of deposit parameters variations. The rules of application of statistical and geostatistical methods for elaboration of exploration results were presented. Block kriging can be successfully applied for reserve estimation of natural aggregate deposits. It was found that in the case of the both deposits studied the net of boreholes with the smaller density could be sufficient for deposit evaluation.

Translated by authors

Р Е З Ю М Е

Для двух водно-ледниковых месторождений природного щебня: Поташня III и Рыбаки II были проведены статистические и геостатистические исследования основных параметров месторождения (мощности и параметров, характеризующих качество щебня). Установлено, что в дифференциации мощности четко обозначается случайный компонент изменчивости зато параметры качества щебня характеризуются случайной изменчивостью, или же случайной со слабо проявленным неслучайным компонентом. На основании проведенных исследований подтверждается целесообразность применения геостатистических методов для описания изменчивости месторождений (при помощи вариограмм) и возможность использования крайгинга для подсчета запасов месторождения. Приведены правила применения статистических и геостатистических методов для описания месторождений в случае месторождений исследованного типа. Констатируется возможность разрежения разведочной сети.