

Michał CHMURKO,  
Henryk KIELBIK,  
Aleksander MYRCHA

## GEOTERMOMECHANICZNY STAN POTENCJALNYCH NAPRĘŻEŃ I ODKSZTAŁCEN W NIENARUSZONYM GÓROTWORZE KOPALNI "KACZYCE"

**Streszczenie.** Wykorzystując rezultaty badań geotermodynamicznych podano rozkłady współczynnika Poissona, potencjalnych poziomych naprężeń i odkształceń na przyjętych poziomach kopalni "Kaczyce". Wyliczono liczby korelacji, proste regresji i krzywe ufności dla analizowanych cech geotermomechanicznych górotworu.

### 1. Wstęp

Przeprowadzone badania geotermodynamiczne skał górotworu kopalni "Kaczyce" pozwoliły na określenie wpływu wielkości ziemskiego strumienia ciepła w istniejących anomaliach geotermicznych na zjawiska geomechaniczne. Analizę rozkładu potencjalnych pionowych naprężeń geotermomechanicznych w górotworze tej kopalni przedstawiono w pracach [2-5, 8].

Z uwagi na wymogi redakcyjne artykuł zilustrowano w sposób poglądowy.

### 2. Potencjalne naprężenia i odkształcenia geotermomechaniczne

Określenie stanu potencjalnych naprężeń i odkształceń geotermomechanicznych przeprowadzono przy założeniu, iż stabilna i niezaburzona emancja ciepła w ośrodku anizotropowym, jakim jest nienaruszony robotami górniczymi górotwór, odbywa się w sposób radialny.

Korzystając z prawa Hooke'a oraz ze wzoru określającego potencjalne pionowe naprężenia geotermodynamiczne (K. Chmura, 1978):

$$\sigma_G = \frac{\lambda_c E \Delta T}{q d}, \quad \frac{N}{m^2}$$

wyznaczono zależność pozwalającą na określenie wielkości naprężeń poziomych:

$$\sigma_{GX} = \sigma_{GY} = \frac{\nu^* E \Delta \nu}{(1 - \nu^*) \bar{q} d}, \quad \frac{N}{m^2}$$

gdzie:

- $\sigma_{GX} = \sigma_{GY}$  - potencjalne poziome naprężenia geotermomechaniczne,  $\frac{N}{m^2}$ ,  
 $\nu^*$  - współczynnik Poissona,  
 $E$  - moduł Younga,  $\frac{N}{m^2}$ ,  
 $\Delta \nu$  - różnica poziomów energetycznych między stropem i spągłem przyjętego poziomu,  $^{\circ}C$ ,  
 $\bar{q}$  - powierzchniowy współczynnik zagęszczenia ciepła w ziemskim strumieniu przepływającym przez kompleks skalny,  $\frac{N}{m^2}$ ,  
 $d$  - grubość przyjętego poziomu kompleksu skalnego, m.

W obszarze kopalni "Kaczyce" potencjalne pionowe naprężenia geotermiczne kształtują się w granicach od 3,4 do  $271,7 \frac{N}{m^2} \cdot 10^8$ . Zróżnicowanie to jest związane ze skomplikowaną budową geologiczną kompleksu skalnego i częstym występowaniem w karbonie grubych pokładów węgla przewarstwionych piaskowcami, ilowcami i mułowcami [5].

Celem sprawdzenia wiarygodności wyników oraz określenia związku między ziemskim strumieniem ciepła a potencjalnymi pionowymi naprężeniami geotermicznymi wyznaczono metodami statystycznymi (J. Greń, 1978) liczby korelacji i równania prostych regresji dla piaskowców, ilowców, mułowców i węgla. Średnio uwzględniono 27 próbek dla każdej odmiany litologicznej. Założono poziom ufności równy 0,92.

Przed wyznaczeniem potencjalnych poziomych naprężeń geotermomechanicznych określono wielkości współczynnika Poissona skał. W tym celu posłużono się ultradźwiękowymi metodami pomiaru. Wartości współczynnika wyliczono z zależności (Z. Wehr i inni, 1963):

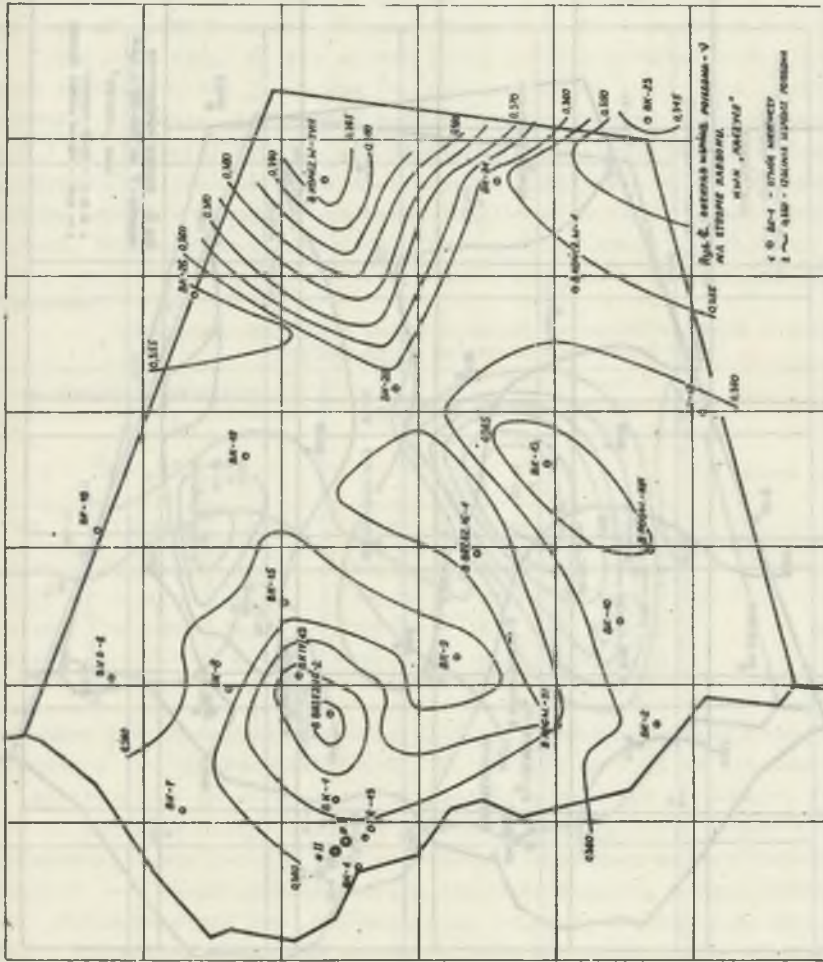
$$\nu^* = \frac{C_L^2 - 2 C_T^2}{2(C_L^2 - C_T^2)}$$

gdzie:

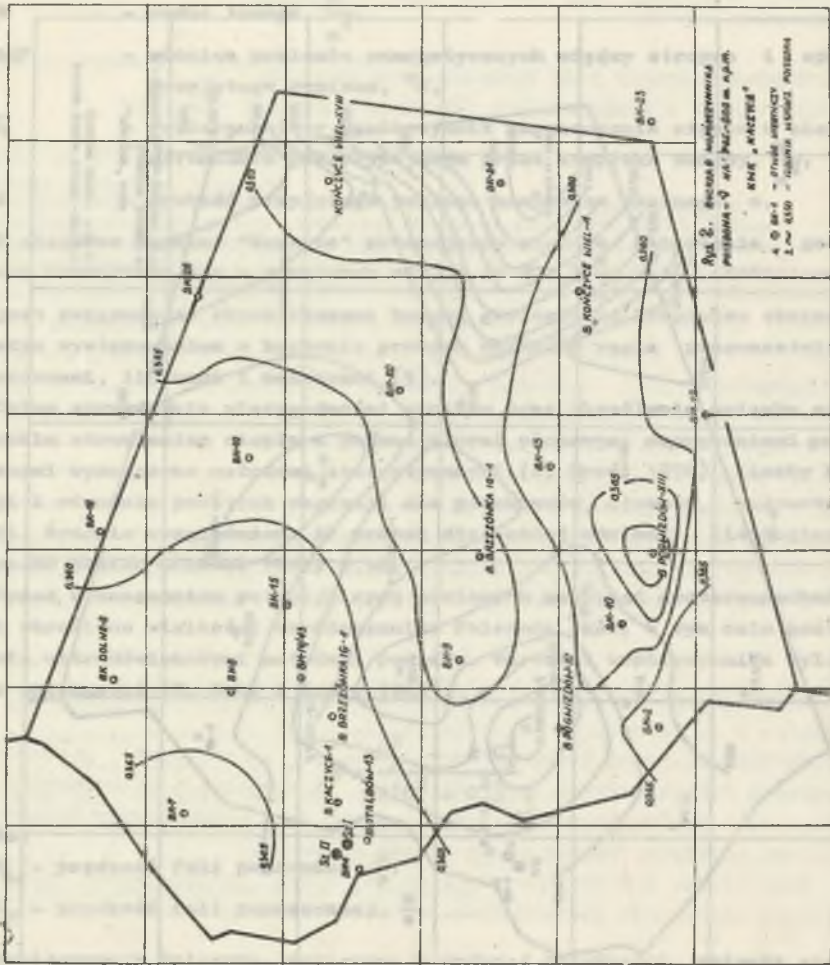
- $C_L$  - prędkość fali podłużnej,  $\frac{m}{s}$ ,  
 $C_T$  - prędkość fali poprzecznej,  $\frac{m}{s}$ .

Współczynnik Poissona, wyliczony z podanej zależności, zmienia się nieznacznie w analizowanym obszarze kopalni "Kaczyce" od 0,341 do 0,400 (tablica 1).

Na stropie karbonu (rys. 1) w rozkładzie tego współczynnika wyróżnić można występowanie trzech anomalii. Wartości zmieniają się w granicach 0,340 - 0,400. W części południowo-zachodniej przebieg izolinii na tym poziomie jest najbardziej zróżnicowany.

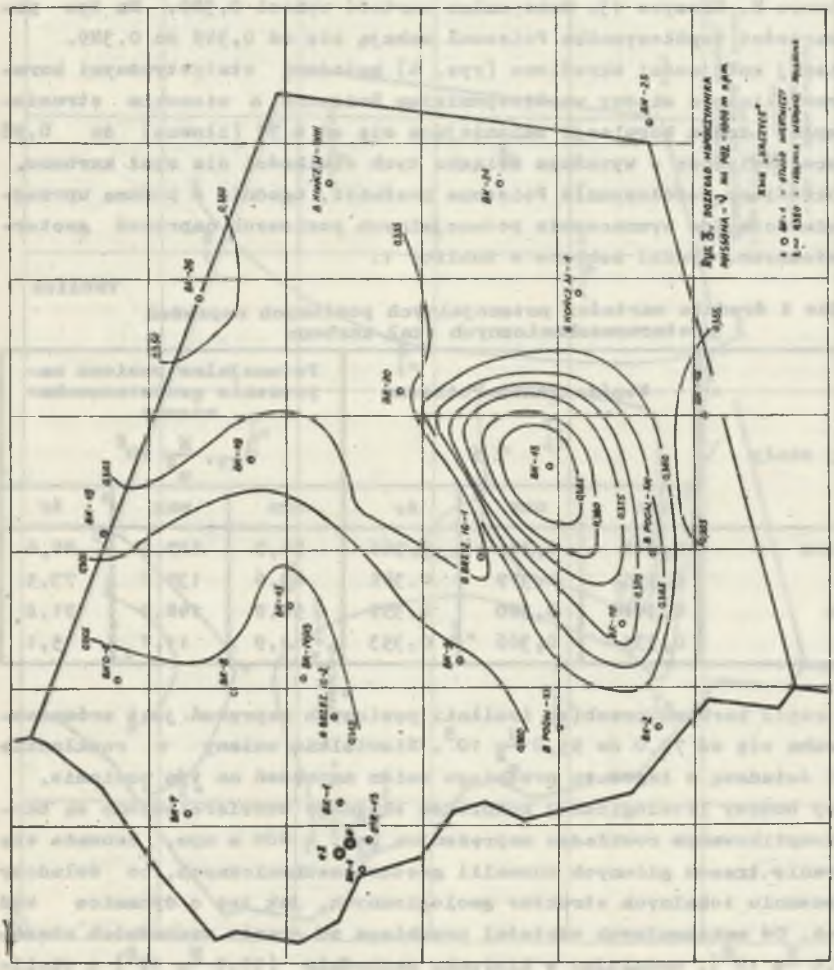


Rys. 1. Rozkład współczynnika Poissona -  $\nu$  na stropie karbonu KWK "Kaczycze"  
 1. O BK-1 - otwór wiertniczy, 2. = 0,350 - izolinia współczynnika Poissona



Rys. 2. Rozkład współczynnika Poissona -  $\nu$  na poziomie 800 m n.p.m. WKW "Kaczyce"

1.  $\circ$  BK-1 - otwór wiertniczy, 2.  $\circ$  0,350 - izolinia współczynnika Poissona



Rys. 3. Rozkład współczynnika Poissona -  $\nu$  na poziomie 1000 m n.p.m. KWK "Kaczyce"  
 1.  $\circ$  BK-1 - otwór wiertniczy, 2.  $\infty$  0,350 - izolinia współczynnika Poissona

Na poziomie - 800 m npm (rys. 2) izolinie przebiegają łagodnie, przy czym zauważa się niewielki wzrost wartości od 0,355 do 0,370. Wyróżnić można dwie strefy wzrostu wartości współczynnika od części środkowej ku granicom NE i SW obszaru. Maksymalne wartości notuje się w otworze B. Pogwizdów XIII - 0,371.

Na poz. - 1000 m npm (rys. 3) występują wyraźna anomalia rozkładu w pobliżu otworu B. Kaczyce 13. Maksymalna wartość wynosi 0,389. Na tym poziomie wartości współczynnika Poissona wahają się od 0,349 do 0,389.

W dalszej kolejności określono (rys. 4) metodami statystycznymi korelację prostoliniową między współczynnikiem Poissona a ziemskim strumieniem ciepła. Liczba korelacji zmieniająca się od 0,77 (iłowce) do 0,98 (piaskowce) świadczy o wyraźnym związku tych wielkości dla skał karbonu.

Tak określony współczynnik Poissona posłużył, zgodnie z podaną uprzednio zależnością, do wyznaczenia potencjalnych poziomych naprężeń geotermomechanicznych. Wyniki zebrano w tablicy 1.

Tablica 1

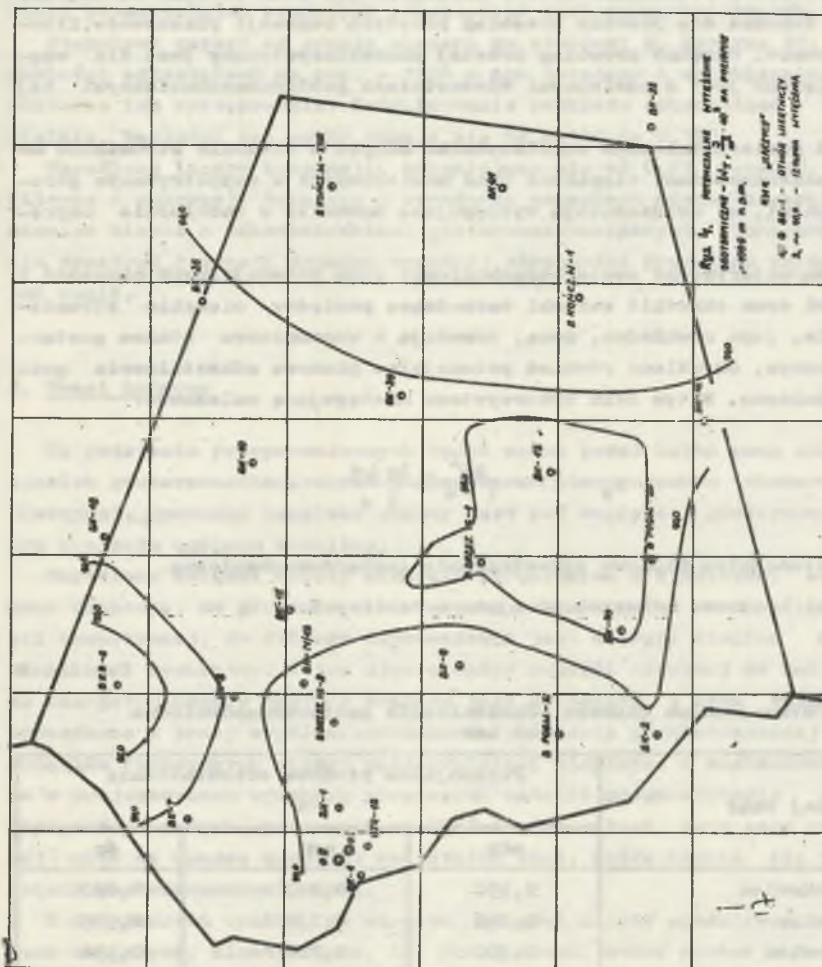
Skrajne i średnie wartości potencjalnych poziomych naprężeń geotermomechanicznych skał karbonu

Rodzaj skały	Współczynnik Poissona			Potencjalne poziome naprężenia geotermomechaniczne		
	min	max	śr	$\sigma_{XY}, \frac{N}{m^2} \cdot 10^8$		
Piaskowce	0,342	0,386	0,366	54,9	127,5	88,6
Iłowce	0,335	0,379	0,345	43,6	135,0	73,5
Mułowce	0,341	0,380	0,359	54,9	148,9	91,2
Węgle	0,335	0,366	0,353	1,9	11,7	5,1

Na stropie karbonu przebieg izolinii poziomych naprężeń jest zróżnicowany i waha się od 79,0 do 95,0  $\frac{N}{m^2} \cdot 10^8$ . Niewielkie zmiany w rozkładzie izolinii świadczą o łagodnym przebiegu zmian naprężeń na tym poziomie.

Zmiany budowy litologicznej kompleksu skalnego odzwierciedlone są bardziej skomplikowanym rozkładem naprężeń na poz. - 800 m npm. Zauważa się występowanie trzech głównych anomalii geotermomechanicznych, co świadczy o występowaniu lokalnych struktur geologicznych, jak też o dynamice wód wglębnych. Oś maksymalnych wartości przebiega od granic wschodnich obszaru ( $110,0 \frac{N}{m^2} \cdot 10^8$ ), undulując w kierunku zachodnim ( $55,0 \frac{N}{m^2} \cdot 10^8$ ) w okolicach otworu wiertniczego B. Kończyce Wielkie XVIII. Maksymalną wartość  $112,0 \frac{N}{m^2} \cdot 10^8$  zanotowano w otworze B. Kaczyce 4.

Na poz. - 1000 m npm wyróżnia się jedna anomalia geotermomechaniczna wokół otworu B Kaczyce 20. W otworze tym notuje się maksymalne wartości naprężeń poziomych wynoszące  $115,7 \frac{N}{m^2} \cdot 10^8$ . Minimalną wartość obserwuje



Rys. 4. Potencjalne wytopienie geotermiczne -  $V_T \cdot \frac{J}{m^2} \cdot 10^3$  na poziomie 1000 m n.p.m. KWK "Kaczyce"  
 1. O EK-1 - otwór wiertniczy, 2. ~ 90,0 - izolacja wytopienia

się w części południowo-wschodniej obszaru wynoszącą  $80,2 \frac{N}{m^2} 10^8$  w otworze B. Kaczyce 12.

Liczby korelacji zmieniające się od 0,92 (węgle) do 0,98 (piaskowce) świadczą o wyraźnym związku pomiędzy ziemskim strumieniem ciepła a poziomymi naprężeniami geotermicznymi. Określono także związki między naprężeniami pionowymi i poziomymi. Liczby korelacji dla skał karbonu są bliskie pewności. Zauważa się podobny przebieg prostych regresji piaskowców, ilowców i mułowców. Odrębny przebieg prostej charakterystyczny jest dla węgla, co związane jest z odmiennymi własnościami geotermomechanicznymi tej skały.

Rozkład powierzchniowego współczynnika ciepła w ziemskim strumieniu koreluje z właściwościami cieplnymi skał nawierconymi w rozpatrywanym górotworze kopalni, co uwiadcniają występujące anomalie w rozkładzie naprężeń.

Aby scharakteryzować geotermomechaniczny stan potencjalnych naprężeń i odkształceń oraz określić związki zachodzące pomiędzy ziemskim strumieniem ciepła, jego rozkładem, mocą, emanacją a wspomnianym stanem geotermomechanicznym, określono również potencjalne pionowe odkształcenia geotermomechaniczne. W tym celu wykorzystano następującą zależność:

$$\varepsilon_z = \left(1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}\right) \frac{\gamma_c \Delta \nu}{q d}$$

gdzie:

$\varepsilon_z$  - potencjalne pionowe odkształcenie geotermomechaniczne.

Wartości liczbowe odkształceń ujęto w tabelicy 2.

Tabela 2

Potencjonalne pionowe odkształcenia geotermomechaniczne skał karbonu

Rodzaj skał	Potencjonalne pionowe odkształcenia $\varepsilon_z$		
	min	max	śr
Piaskowiec	0,550	0,913	0,660
Iłowiec	0,296	0,733	0,535
Mułowiec	0,320	0,728	0,554
Węgiel	0,062	0,189	0,154

Analogicznie do rozkładu izolinii naprężeń zauważa się zmiany rozkładu izolinii potencjonalnych pionowych odkształceń geotermomechanicznych.

Na stropie karbonu można wyznaczyć obszar największych zmian odkształceń. Przebiega on z kierunku północno-zachodniego do południowo-wschodniego. Wartości odkształceń pionowych na tym poziomie zmieniają się od 0,520



do 0,670. Wyróżniają się dwie anomalie wokół otworu B. Kaczyce 15 oraz B. Kaczyce 12.

Większe zróżnicowanie odkształceń zauważa się na poz. - 800 m npm. Wartości liczbowe zmieniają się od 0,520 do 0,670. W części zachodniej i południowej obszaru występują dwie anomalie, tworząc synklinálną (otwór B. Kaczyce 10) i antyklinalną (otwór B. Kaczyce 20) formę w rozkładzie izolinii potencjalnych pionowych odkształceń geotermomechanicznych.

Stopniowy wzrost od granic obszaru ku otworowi B. Kaczyce 20, izolinii wartości odkształceń na poz. - 1000 m npm świadczy o antyklinalnym charakterze ich występowania. Zróżnicowanie rozkładu odkształceń jest niewielkie. Wartości tej cechy wahają się od 0,540 do 0,740.

Określone liczby korelacji, zmieniające się od 0,65 (węgle) do 0,99 (iłowiec i mułowce), świadczą o wyraźnych związkach między ziemskim strumieniem ciepła a odkształceniami geotermomechanicznymi. Wyznaczone równania prostych regresji dowodzą wyraźnej odrębności przebiegu zmian odkształceń węgla.

### 3. Uwagi końcowe

Na podstawie przeprowadzonych badań można podać kilka uwag odnośnie do zjawisk geotermomechanicznych w górotworze nienaruszonym obszarze kopalni "Kaczyce". Omawiany kompleks skalny jest pod względem geotermomechanicznym w ujęciu ogólnym stabilny.

Określone związki między ziemskim strumieniem a zjawiskami mechanicznymi wskazują, że górotwór nienaruszony stanowi układ o określonej energii wewnętrznej, do którego doprowadzana jest energia cieplna w sposób stabilny i dyskretny. W tym ujęciu wpływ energii cieplnej na zmiany układu energetycznego w masywie skalnym jest ewidentny, o czym świadczą wprowadzone w pracy współzależności. Na podstawie przeprowadzonej analizy związków funkcyjnych między właściwościami cieplnymi a mechanicznymi można w projektowaniu wyrobisk górniczych ustalić prognostycznie charakter naprężeń pionowych, poziomych wielkości odkształceń, przy czym należy tutaj mieć na uwadze kompleks wszystkich skał, które różnią się właściwościami geotermomechanicznymi.

Z doświadczeń wynika, że wzrostu naprężeń należy spodziewać się w skałach zwięzłych, klastycznych, tj. piaskowcach, które oprócz łatwego przyjmowania energii cieplnej cechują się naprężeniami międzyziarnowymi, co oczywiście powoduje akumulację energii mechanicznej.

## LITERATURA

- [1] Borecki M., Chudek M.: Mechanika górotworu. "ŚLĄSK", Katowice 1973.
- [2] Chmura K.: Wpływ zmienności masywu skalnego na warunki cieplne i rozkład temperatury w profilu pionowym górotworu. Przegląd Górniczy nr 10, Katowice 1977.
- [3] Chmura K.: Związki funkcyjne między ziemskim strumieniem ciepła a właściwościami mechanicznymi skał w górotworze. Rudy Metale Nieśelazne nr 10, Katowice 1977.
- [4] Chmura K. i inni: Właściwości cieplne i geotermomechaniczne skał obszaru kopalni "Kaczyce". Politechnika Śląska RG-4 (biblioteka Instytutu) Gliwice 1980. (Niepublikowane).
- [5] Chmura K., Myroha A.: Związki funkcyjne między ziemskim strumieniem ciepła a właściwościami geotermomechanicznymi skał w górotworze. Przegląd Górniczy nr 9, Katowice 1982.
- [6] Filipczyński L., Pawłowski Z., Wehr Z.: Ultradźwiękowe metody badań materiałów. PWN, Warszawa 1978.
- [7] Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej. "ŚLĄSK", Katowice 1982.

Recenzent: Doc. dr inż. Leonard PLUTA

Wpłynęło do redakcji w maju 1983 r.

**ГЕОТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ  
В НЕТРОУНУТЫХ ГОРООБРАЗОВАНИЯХ ШАХТЫ "КАЧЫЦЕ"**

**Р а з в е с т**

Используя результаты геотермодинамических исследований даны распределения коэффициента Пуассона потенциальных горизонтальных напряжений и деформаций для принятых уровней шахты "Качыце". Расчитаны коэффициенты корреляции, регрессионные прямые и кривые надёжности для анализированных геотермодинамических свойств горообразования.

**GEOTHERMODYNAMIC STATE OF POTENTIAL STRESSES AND STRAINS  
IN UNDISTURBED ROCK MASS OF THE COAL MINE KACZYCE**

**S u m m a r y**

Using results of geothermodynamic experiments distributions of Poisson coefficient, potential horizontal stresses and strains in the given levels of the coal mine Kaczyce are given. Correlations, regression lines and curves of trust have been found to analyse geothermodynamic properties of a rock mass.