

Antoni CZEKAJ, Ryszard WARDZAŁA

ZMIANY PARAMETRÓW FIZYCZNYCH POKŁADU I STROPU
NA PRZYKŁADZIE OBSERWACJI W KWK "DYMITROW"
I ICH INTERPRETACJA GÓRNICZA

Streszczenie. W niniejszym artykule pokazano możliwość zastosowania badań geofizycznych do określenia empirycznego parametrów fizycznych pokładu i stropu. Zastosowano metodę elektrooporową i metodę sejsmiczną. Badania prowadzono w pokładzie 507 w KWK "Dymitrow". Obserwowano zmiany potencjału sztucznie wytworzonego pola elektrycznego, zmiany prędkości rozprzestrzeniania się fal sejsmicznych, częstotliwości oraz długości tychże fal. Otrzymane wyniki zostały następnie zinterpretowane w nawiązaniu do sytuacji górniczej.

1. Wprowadzenie

Wybieranie pokładu węgla powoduje daleko idące zmiany w górotworze, szczególnie w sąsiedztwie frontu eksploatacyjnego. Ze względu na bezpieczeństwo pracy duże znaczenie posiada wzrost naprężeń występujących zawsze w części pokładu, znajdującej się przed czołem ściany. Na podstawie rozważań teoretycznych, przy wykorzystaniu równań teorii sprężystości, teorii plastyczności, reologii, mechaniki ośrodków ciągłych itp. podano wzory, przy pomocy których określa się wartości naprężenia w dowolnym punkcie rozpatrywanego ośrodka. Stosując te wzory, można określić rozkład naprężeń przed frontem ściany, w stropie - wyznaczyć strefy zagrożone tąpnięciami, wyciskaniem spągu itd.

Znaczenie większe trudności przedstawia problem oszacowania naprężeń drogą bezpośredniego pomiaru w wyrobisku górniczym.

Do jakościowej oceny stanu naprężenia i odkształcenia w otoczeniu wyrobisk górniczych stosować można z powodzeniem metody geofizyczne, stanowiące jedną z form nie niszczących badań ośrodka. Metody te polegają na określaniu niektórych parametrów fizycznych skał.

Biorąc pod uwagę fakt, że parametry te zmieniają się w zależności od stanu naprężenia i odkształcenia, przydatność metod geofizycznych staje się oczywista.

Wykorzystując dotychczas zebrane doświadczenia w zakresie metodyki pomiarów i interpretacji zaprojektowano i wykonano serię badań w kop. "Dymitrow". Celem badań było określenie względnych zmian parametrów fizycz-

nych w pokładzie oraz w stropie eksploatowanego pokładu przed frontem ściany. W niniejszej pracy omówiono wyniki tych badań.

2. Warunki geologiczno-górniczne w rejonie badań

Klasyczne badania z zakresu geofizyki poszukiwawczej polegają na pomiarze określonych parametrów fizycznych ośrodka i określaniu na tej podstawie budowy geologicznej podłoża.

W problematyce górniczej, a szczególnie w badaniach z dziedziny mechaniki górotworu zadanie geofizyczne jest inne. Tu budowa geologiczna jest przeważnie dobrze rozpoznana i właśnie jej wcześniejsze rozpoznanie umożliwia powiązanie stwierdzonych zmian parametrów fizycznych z określonym stanem naprężenia i odkształcenia. Dlatego też warunkiem skutecznego zastosowania metod geofizycznych w problematyce mechaniki górotworu jest wcześniejsze rozpoznanie geologiczne i hydrogeologiczne badanego ośrodka.

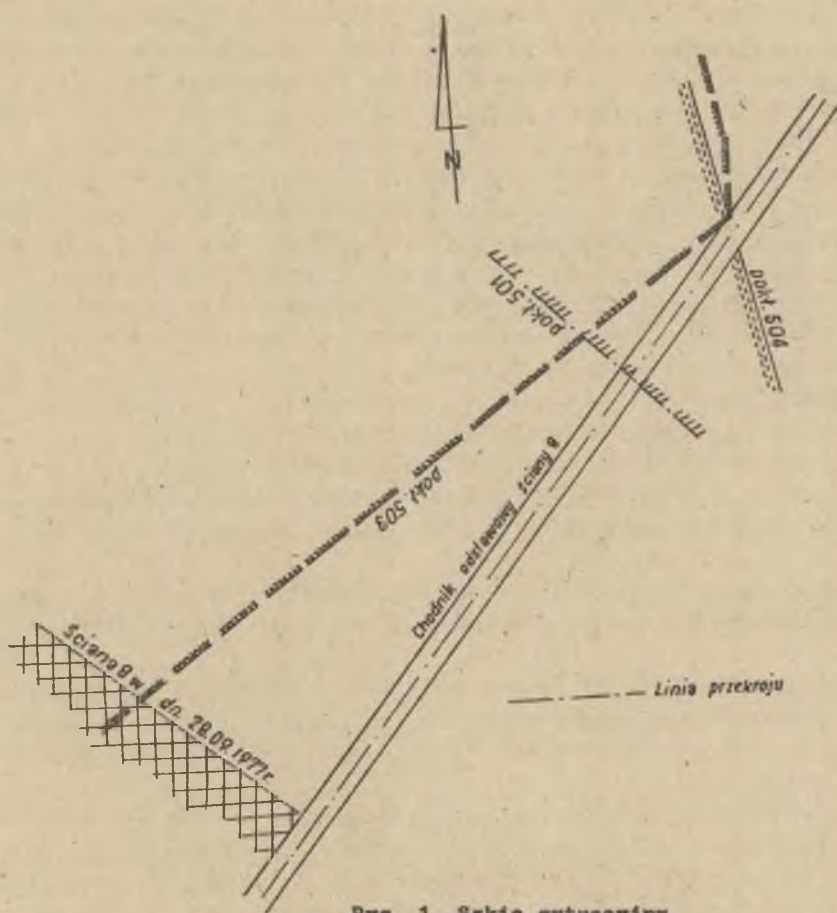
W kop. "Dymitrow" metody geofizyczne zastosowano dla zbadania charakteru zmian przed linią frontu zmechanizowanej ściany podsadzkowej nr 8 w pokładzie 507. Pokład ten, o miąższości około 4,5 m, zalegający na głębokości ponad 800 m, wybierano jedną warstwą o grubości 3,5 - 4,0 m. Ze względu na zagrożenie tąpnięciami i szereg innych przyczyn prędkość frontu w okresie badań była niewielka, rzędu kilkunastu metrów na miesiąc.

Usytuowanie wyrobisk ilustruje szkic sytuacyjny na rys. 1, przedstawiający fragment mapy pokładu 507. W stropie pokładu 507 zalegają skały mocne, zbudowane głównie z piaskowców i mułowców. W zalegających wyżej pokładach warstw siłkowych znajdują się trzy krawędzie. Najbliższa znajduje się w pokł. 504.

Ze względu na skłonność węgla do tępnięć głębokość eksploatacji i występowanie w stropie skał mocnych, zwłęczkich, pokład zaliczono do III stopnia zagrożenia tąpnięciami. Węgiel w pokł. 507 i skały stropowe zawierają tylko wodę związaną. Obecność wody wolnej, mogącej przemieszczać się przez szczeliny w skałach, nie stwierdzono.

Z analizy lokalnych warunków górniczo-geologicznych w rejonie badań wynika, że w trakcie interpretowania wyników należy zwrócić uwagę na następujące okoliczności:

- a) wpływ wody na rezultaty pomiarów jest pomijalnie mały. Wzrost porowatości i powstanie szczelin nie powoduje zmian w istniejących stosunkach wodnych,
- b) interpretując wyniki można pominąć wpływ temperatury, która ze względu na znaczną głębokość eksploatacji była podwyższona, lecz posiada zbliżoną wartość wzdłuż całej linii pomiarowej,
- c) linia pomiarowa nie przecina żadnych stref zaburzeń tektonicznych w postaci uskoków, szczelin itp. Zaleganie warstw jest regularne,



Rys. 1. Szkic sytuacyjny

w związku z czym wszelkie przyczyny geologiczne powodujące w innych przypadkach zmiany mierzonych parametrów można również pominąć,

- d) na rezultaty pomiarów duży wpływ mogą wywierać krawędzie eksploatacji zatrzymanej w pokładach wyższych. Jak wykazano w pracy [3] wpływ ich sięga na znaczną odległość, tak że istnieje realna możliwość oddziaływania nie tylko krawędzi w pokładach 503 i 504, lecz również w pokł. 501 (rys. 1).

3. Metodyka i prowadzenie badań

Podstawową metodą zastosowaną w kop. "Dymitrow" w pracach badawczych było tzw. profilowanie wzdłuż ociosu i stropu przyscianowego wyrobiska korytarzowego - chodnika odstawowego ściany 8 w pokładzie 507. Badania-
mi objęto odcinek wyrobiska o długości około 100 m, przed linią frontu ściany. Punkt początkowy profilu znajdował się na krawędzi ściany.

Zastosowana metodyka badań wynikała z aktualnych możliwości aparaturowych Instytutu Techniki Eksploatacji Ziół. Z konieczności ograniczono je do pomiaru zmian elektrycznego oporu właściwego pozornego i pomiaru prędkości rozchodzenia się fal sprężystych. Jako aparaturę badawczą zastosowano miernik geoelektryczny PLH oraz jednokanałową aparaturę sejsmiczną typu "Bison". Pomiary zaprojektowano tak, aby ustalić:

- a) zmiany elektrycznego oporu w pokł. 507,
- b) zmiany elektrycznego oporu skał stropowych,
- c) zmiany prędkości fal sprężystych w pokł. 507,
- d) zmiany prędkości fal sprężystych w skałach stropowych.

Niezależnie od określenia wymienionych wyżej czterech podstawowych parametrów postanowiono również określać zmiany niektórych dynamicznych własności fal sprężystych.

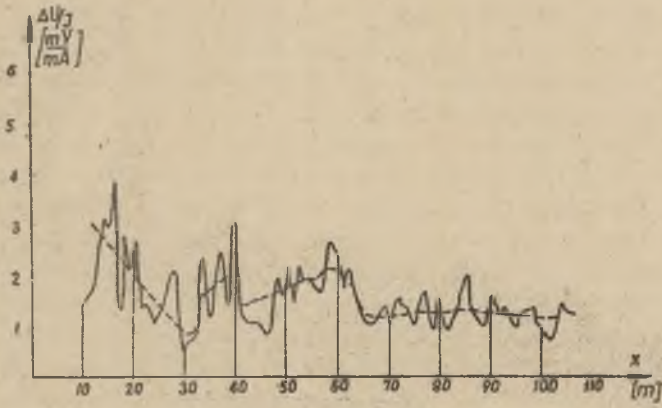
W badaniach geoelektrycznych zastosowano symetryczny układ pomiarowy A-3-M-1-N-3-B mierząc zmiany elektrycznego oporu co 1 m na odcinku o długości 106 m.

Pomiar wykonywano wzdłuż ociosu węglowego, a następnie w stropie chodnika odstawowego. W miejscach stwierdzonych anomalii pomiar powtarzano kilkakrotnie, aby upewnić się czy anomalia ta nie została spowodowana błędem pomiaru.

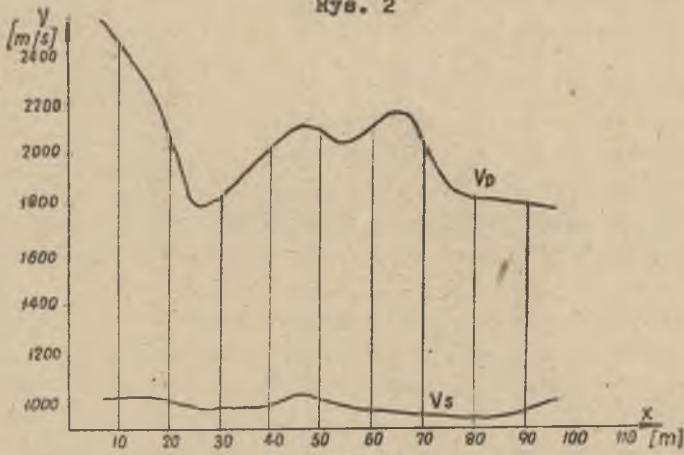
W badaniach sejsmicznych fale sprężyste wzbudzano przez udar mechaniczny. Specjalnie skonstruowaną sondę geofonową umieszczono w płytkich otworach odwierconych w ociosie i stropie co 5 m. Układ geofonów w sondzie umożliwiał rejestrację fali sprężystej podłużnej "P", związanej z odkształceniem objętościowym ośrodka oraz fali poprzecznej "S", związanej z odkształceniem postaciowym. Punkt wzbudzania fal sprężystych przemieszczono sukcesywnie co 1 m, uzyskując w ten sposób szereg krótkich profili sejsmicznych, z których można było sporządzać hodografy i określać prędkości odpowiednich fal sprężystych.

4. Wyniki badań

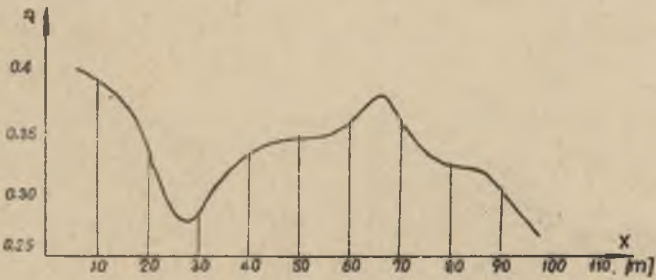
Złożony charakter prac badawczych, polegający na równoczesnym badaniu zmian kilku parametrów fizycznych w pokładzie i skałach stropowych, utrudnia znacznie interpretację badań. Dlatego też odrębnie pokazano re-



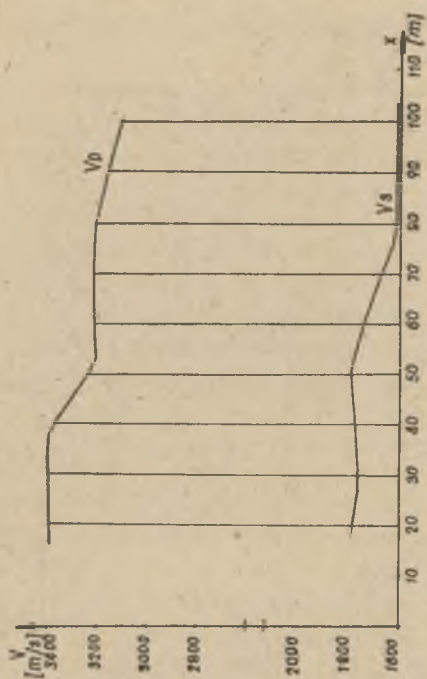
Rys. 2



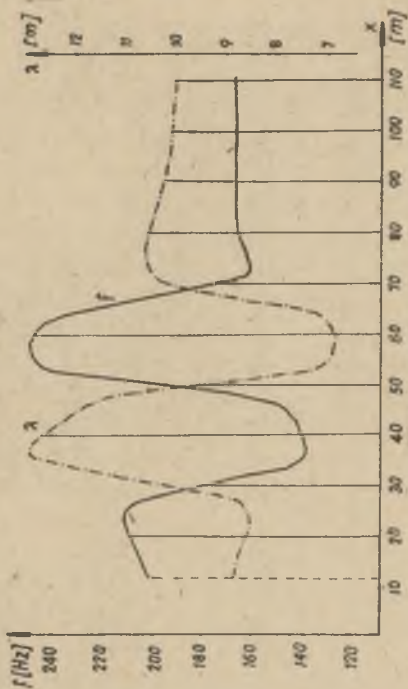
Rys. 3



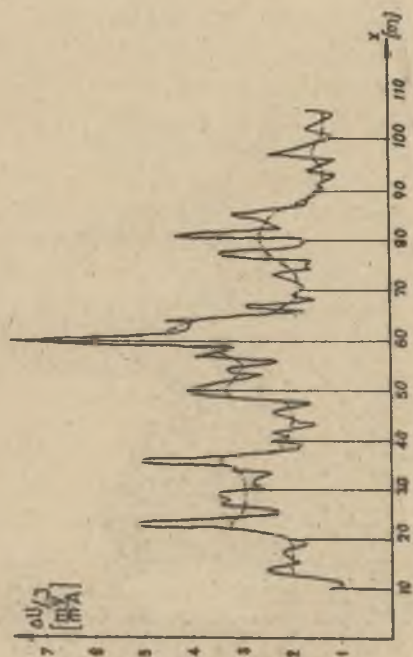
Rys. 4



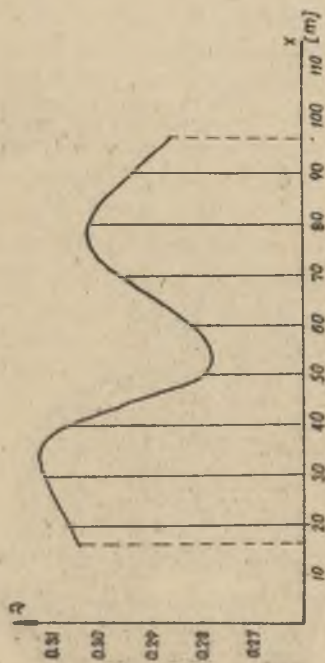
Rys. 6



Rys. 8



Rys. 5



Rys. 7

zultaty badań w pokładzie i skałach stropowych, a dopiero później dokonano próby kompleksowej interpretacji górniczej uzyskanych rezultatów.

Każdy wykres opracowano wg tej samej zasady: na osi odciętych oznaczono odległość od linii frontu ścian (X), a na osi rzędnych pomierzoną (lub obliczoną) wartość odpowiedniego parametru. Początek układu współrzędnych umieszczano zawsze na linii frontu ściany.

Rysunki 2, 3, 4 obrazują wyniki uzyskane z badań pokładu 507. Wykres na rys. 2 obrazuje zmiany różnicy potencjałów ΔU (która przy stałym natężeniu prądu jest wprost proporcjonalna do wartości ρ_p) na odcinku od 10 m do 105 m odciosu węglowego chodnika odstawowego ściany 8.

Rezultaty profilowań prędkości fal sprężystych podano na rys. 3. Z wykresu wynika, że znacznie bardziej zróżnicowana jest prędkość fali sprężystej podłużnej V_p niż fali poprzecznej V_s .

Wykorzystując znany wzór:

$$\nu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (1)$$

i znając wartości V_p i V_s obliczono zmiany współczynnika Poissona.

Uzyskane wyniki podane są na rys. 4. Wartość ν zmienia się w granicach od 0,26 do 0,4.

wyniki badań skał stropowych pokazano na rys.: 5, 6, 7, 8. Zmiany różnicy potencjałów ΔU mierzonych w stropie pokazano na rys. 5. Zmiany prędkości fal sprężystych V_p i V_s przed linią frontu ilustruje rys. 6. Na podstawie badań sejsmicznych obliczono wg wzoru (1) wartość zmian współczynnika Poissona. Współczynnik ten waha się w granicach od 0,279 do 0,312, co pokazano na rys. 7.

Aparatura "Bison", którą wykonywano badania sejsmiczne, umożliwia określanie niektórych dynamicznych własności fal sprężystych.

Odczytując okres fali T ze wzoru:

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{sek}^{-1}) \quad (2)$$

obliczono częstotliwość fali poprzecznej f_s , rozchodzącej się w skałach stropowych. Znając częstotliwość ze wzoru:

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (\text{m}) \quad (3)$$

obliczono długość fali poprzecznej λ_s . Wartości f_s i λ_s pokazano na rys. 8. Częstotliwość fali poprzecznej oscyluje w granicach od około

140 Hz do 250 Hz, a długość fali obserwuje się w interwale od 6,8 do 13 m.

5. Interpretacja górnicza badań geofizycznych

Zmiany poszczególnych parametrów fizycznych, zarejestrowane podczas wykonywania pomiarów, umożliwiają jakościowy opis zjawisk zachodzących w badanym ośrodku. Ogólne zależności pomiędzy oporem elektrycznym pozornym, prędkościami fal sprężystych i własnościami dynamicznymi tych fal a stanem naprężenia i odkształcenia są w zasadzie znane. Należy jednak podkreślić, że zależności te ustalono w przeważającej części badając próbki skał w laboratoriach, podczas gdy pomiarów "in situ" wykonywano bardzo mało. Dotychczasowe obserwacje w warunkach dołowych pozwoliły na zaobserwowanie przez autorów kilku ważnych zależności, a między innymi następujące:

- elektryczny opór właściwy pozorny zmienia się w bardzo szerokich granicach w zależności od stanu naprężenia i odkształcenia. Praktycznie przy pominięciu wpływu innych, geologicznych i hydrogeologicznych czynników naprężenia rozciągające powodują wzrost elektrycznego oporu węgla tym większy, im większe są odkształcenia trwałe w postaci pęknięć, szczelin itp. Naprężenia ściskające powodują spadek elektrycznego oporu skał.

W przypadku akumulowania energii w grotworze obserwuje się silne zaburzenia pola elektrycznego wytwarzanego w czasie pomiarów, tak że istnieje trudność prawidłowego określenia mierzonej różnicy potencjałów ΔU , nawet przy stosowaniu aparatury pozwalającej na pracę w obszarach silnych zakłóceń prądami błądzącymi.

- prędkość fal sprężystych na ogół wzrasta ze wzrostem naprężeń. Należy jednak zaznaczyć, że zależność ta jest znacznie bardziej skomplikowana. W rzeczywistości wzrasta silnie prędkość fali podłużnej, podczas gdy prędkość fali poprzecznej, silnie tłumionej w ośrodku naprężonym, jest znacznie mniejsza.

Tym samym mniejsze zróżnicowanie fali poprzecznej w strefach, gdzie należy się spodziewać zmian naprężeń, świadczy o istnieniu dużych wartości tych naprężeń,

- dużo informacji w stanie odkształcenia w badanym ośrodku dostarcza pomiar zmian współczynnika Poissona, który jak wiadomo określa zależność:

$$\nu = \frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} \quad (4)$$

W warunkach gorniczych, gdzie ciśnienie górotworu jest bardzo duże, ϵ_z osiąga duże wartości, zbliżone do maksymalnych i wpływ składowej pionowej naprężenia w sąsiedztwie frontu nie może już spowodować istotnych zmian. W sąsiedztwie frontu mogą jednak wzrastać ϵ_x (czego wyrazem jest między innymi "struktura skupowa" w pokładzie) aż do osiągnięcia deformacji plastycznych, przy których $\nu \rightarrow 0,5$. Badając zatem zmiany ν można ocenić intensywność odkształceń poziomych.

uwzględniając podane wyżej zależności oraz ogólne zasady interpretacji geomechanicznej badań geofizycznych stan naprężenia i odkształcenia w pokładzie 507 i skałach stropowych przez linią frontu ściany 8 w kop. "Dymitrow" można scharakteryzować następująco:

1. wpływ eksploatacji zaznacza się w pokł. 507 już w odległości 75 m przed frontem ściany (rys. 3 - wykres zmian prędkości fali podłużnej V_p).
Opor elektryczny skał (rys. 2) zmienia się dopiero w odległości 65 m, co wskazuje, że na odcinku $65 < x < 75$ występują niewielkie deformacje sprężyste, nie powodujące odkształceń trwałych.
2. wpływ eksploatacji na warstwy stropowe sięga do odległości 75 m (rys. 6 i rys. 8). wprawdzie strefa podwyższonych oporów sięga nieco dalej do 90 m, lecz należy ją tłumaczyć jako lokalne spękanie stropu. wskazuje na to niezmiennosc innych mierzonych parametrów.
3. Na odcinku $46 < x < 65$ m w pokładzie i $50 < x < 75$ w stropie występuje strefa odkształceń trwałych, na co wskazują:
wzrost ρ_p , wzrost f_g , spadek λ_g oraz niskie wartości.
Zjawisko to można interpretować w ten sposób, że w strefie $46 < x < 75$ m pojawiają się naprężenia rozciągające niezależnie od pionowych naprężeń ciskających. W takiej sytuacji w górotworze mogą powstać spękania i szczeliny w kierunku zbliżonym.
Powstawanie takich deformacji opisano w pracy [2]. Na istnienie pęknięć w stropie wskazują duże anomalia dodatnie w odległości 50 i 60 m przed linią frontu ściany.
4. w odległości od 38 do 49 m w stropie i od 41 do 47 m w pokładzie występuje strefa podwyższonych naprężeń. Zinterpretowanie jej jest trudne - najprawdopodobniej przyczyną jej występowania jest obecność krawędzi w pokładach wyższych.
5. Strefa maksymalnych naprężeń związanych z eksploatacją występuje w pokładzie w odległości od 28 do 32 m przed frontem ściany. Punkt ekstremalny znajduje się na cdciętej $x = 29,5$ m.
W tym miejscu występują maksymalne naprężenia ściskające.
Począwszy od tego miejsca w kierunku ściany opór elektryczny wzrasta praktycznie liniowo, co wskazuje na liniowy spadek naprężeń.
W strefie tej obserwuje się zmianę współczynnika Poissona. Maksymalne jego wartości występują w pobliżu frontu. w odległości

większej niż 14 m rozpoczyna się bardziej intensywny spadek " ν ".

Zmiany ρ_p i ν w pokładzie przed linią frontu potwierdzają rozwiązania analityczne [1], wg których wzrost naprężeń w strefie spękań jest liniowy. Punkt, w którym zmienia się nachylenie wykresu obrazującego zmiany współczynnika Poissona, odpowiada najprawdopodobniej granicy części pokładu, dla której słuszne jest rozwiązanie Prandtla ($X_0 = 14$ m).

6. Strefa maksymalnych naprężeń w stropie znajduje się bliżej linii frontu nad strefą spękań w pokładzie, wznosząc się stopniowo w miarę zbliżania się do linii frontu. Dokładny pomiar w stropie bezpośrednim sąsiedztwie ściany był niemożliwy z przyczyn technicznych, dlatego też ocena zjawisk zachodzących w tej strefie może być tylko szacunkowa, dokonana na podstawie niepełnych danych.
7. Średnia wartość współczynnika Poissona w pokł. 507 wynosi 0,33. W strefie deformacji plastycznych ν wzrasta do 0,39. W stropie średnia wartość ν wynosi około 0,29, przy czym przed frontem ściany zmienia się w granicach od 0,278 do 0,313.

Podana wyżej interpretacja gornicza badań świadczy o dużych możliwościach geofizycznych metod badawczych w zakresie określania zmian naprężeń i deformacji przed frontem ściany. Na podstawie uzyskiwanych wyników można określać granice charakterystycznych stref, co dla niektórych zagadnień, a szczególnie dla zwalczania tępań stanowi cenną informację.

LITERATURA

- [1] GIL Henryk: Analityczna metoda prognozowania i zwalczania tępań w kopalniach. Przegląd Górniczy Nr 9/1977.
- [2] GOSZCZ Antoni: Pęknięcia w stropie zasadniczym w świetle badań geofizycznych. Przegląd Górniczy Nr 9/1977.
- [3] "Wyznaczanie zasięgu oddziaływania krawędzi metodą geoelektryczną" Arch. Instytutu Techniki Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej, Gliwice 1977.

ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БОКОВЫХ ПОРОД НА ПРИМЕРЕ НАБЛЮДЕНИЙ НА ШАХТЕ "ДИМИТРОВ" И ИХ ГОРНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Резюме:

В статье представлены возможности применения геофизических исследований для эмпирического определения физических параметров почвы и кровли. Применены электроопорный и сейсмический методы. Исследования проводились в пласте 507 каменноугольной шахты "Димитров". Наблюдались изменения потенциала искусственно созданного электрического поля, изменения скорости

распространения сейсмических волн, частота и длина этих волн. Полученные результаты были интерпретированы в отнесении к горной ситуации.

CHANGES OF THE PHYSICAL PARAMETERS OF COAL BED
AND ROOF SHOWN ON THE EXAMPLE OF OBSERVATIONS
IN THE COAL MINE "DYMITROW" AND THEIR MINING INTERPRETATIONS

S u m m a r y:

This paper presents the possibility of employing the geophysical research aiming at the empirical determination of the physical parameters of roofs and coal beds. The electric resistance method and the seismic method were used.

The research was carried out in the coal bed number 507 in the mine "Dymitrow". The authors observed changes in the artificially constructed electric field, changes in the speed of dispersion of seismic waves, the frequency and length of these waves. The results were subsequently interpreted in relation to the mining conditions.