

Kaja PIETSCH
Ryszard ŚLUSARCZYK
Jerzy DEC

Akademia Górniczo-Hutnicza
Kraków

O MOŻLIWOŚCI LOKALIZOWANIA STREF BEZPOKŁADOWYCH PRZY ZASTOSOWANIU SEJSMIKI WĘGLOWEJ

Streszczenie. W trakcie robót górniczych w KWK Mszczonowice stwierdzono w warstwach karbońskich obecność pstrych utworów (tzw. stref "wypaleń"), gdzie cechy fizyczne skał uległy zmianie. Zmiany te stwarzają możliwość zastosowania metody sejsmiki węglowej do śledzenia stref zaniku pokładów węgla.

Na podstawie modelowania teoretycznego obrazu falowego opracowano kryteria identyfikacji stref bezpokładowych. Dla pełnego modelu karbonu obraz falowy charakteryzuje się występowaniem intensywnych odbić jedno- i wielokrotnych. Eliminacja pokładów węgla z modelu prowadzi natomiast do zmniejszenia dynamiki zapisu i zaniku refleksów wielokrotnych.

Eksperymentalne badania terenowe potwierdziły prawidłowość przedstawionych kryteriów identyfikacji stref bezpokładowych stwierdzonych w głębokich otworach geologicznych.

1. WSTĘP

Działalność górnicza kopalni "Mszczonowice" prowadzona jest w obrębie warstw siłozłowych i rudzkich. Profil karbonu stanowią w tym rejonie warstwy piaskowców oraz utworów ilasto-mułowcowych rozdzielonych pokładami węgla o zmiennej miąższości. Na dość urozmaiconej powierzchni karbonu występują ilaste utwory miocenu morskiego o miąższości wzrastającej w kierunku południowym od około 100 do 500 m.

W trakcie robót górniczych w górotworze karbońskim w kilku strefach stwierdzono obecność tzw. pstrych utworów [1]. Są to utwory pstro zabarwione, przeobrażone, pozbawione całkowicie lub częściowo węgla kamiennego. Jak dotychczas w rejonie ROW stwierdzono kilkanaście stref występujących w formie płatów. Miąższość skał wtórnie zmienionych dochodzi do 130 m (kop. "Manifest Lipcowy"), 350 m (kop. "Mszczonowice") i jest z zasady większa na morfologicznych wyniesieniach stropu karbonu, natomiast mniejsza w dolinach erozyjnych. Wskazuje to na wcześniejszy okres procesów degradacji skał karbońskich od procesów erozyjnych. Wszystkie znane

dotychczas strefy mają przestrzenny związek z reliefem karbonu i zanikają z głębokością. Utwory pstrej serii w wyniku procesów geologicznych uległy pewnemu przeobrażeniu. Zmiany te uzależnione są od typów i rodzajów skał pierwotnych.

W strefach objętych wtórnymi zmianami węgiel zawiera znacznie mniej części lotnych, czemu towarzyszy cienienie pokładów aż do całkowitego zaniku.

Wyjaśnienie genezy powstania tych tzw. stref "wypaleń" nie jest proste, gdyż działały tu prawdopodobnie różne procesy geologiczne i w różnych okresach czasu. Z procesów geologicznych zachodzących w tych strefach można wymienić: działalność wulkaniczną, metamorfizm kontaktowy, działalność wód hydrotermalnych, śródformacyjne wietrzenie leterytowe i działalność solanek miocenijskich. W wyniku działań tych procesów cechy fizyczne górotworu w strefach "wypaleń" uległy zmianom. Wydaje się, że obserwowany zanik pokładów węgla, a także zanik warstwowania skał mogą prowadzić do zacierania się granic sejsmicznych oraz do powstania stref o obniżonych lub zwiększonych naprężeniach. Przekształcenie spoiwa i przeobrażenie poszczególnych minerałów mogły powodować zmiany porowatości, a co za tym idzie - gęstości górotworu. Wymienione zmiany budowy górotworu i jego parametrów fizycznych, jak należałoby przypuszczać, stwarzają możliwości zastosowania metod geofizycznych do śledzenia obszaru "stref wypaleń".

Małe zróżnicowanie gęstości skał ($2,55-2,71 \text{ g/cm}^3$) w całym górotworze oraz skomplikowany rozkład elektrycznej oporności pozornej, jak również występujące zakłócenia przemysłowe uniemożliwiają stosowanie metody gravimetrycznej i metod elektrycznych. Należy natomiast sądzić, że badanie zmian dynamiczno-kinematycznych cech sygnału sejsmicznego oraz zastosowanie sejsmiki powierzchniowej mogą być efektywne przy kartowaniu stref "wypaleń".

2. WYNIKI BADAŃ SEJSMOMETRYCZNYCH

Warunki propagacji fali sprężystej w strefie wypalanej i niewypalanej powinny być różne ze względu na zmianę fizykomechanicznych własności ośrodka skalnego. Należało przypuszczać, że zmienne warunki propagacji uwidocznia się w dynamicznych i kinematycznych cechach impulsu sejsmicznego.

W związku z tym wykonano badania sejsmometryczne w wersji prześwietleń chodnik-powierzchnia, umieszczając punkty strzałowe w ociosach chodników pod strefą wypaloną. Rejestracja odbywała się na dwóch profilach nad i poza strefą wypaloną.

Analiza amplitud przemieszczeń i ich prędkości nie doprowadziła do zaobserwowania zmian, które można by korelować z występowaniem strefy "wypaleń". Również analiza częstotliwościowa uzyskanych zapisów nie wykazała anomalii nad strefą bezpokładową.

Uzyskany w wyniku prześwietlań rozkład prędkości fali bezpośrednio ma charakter dość jednostajny, nie wykazuje anomalii, co świadczy, że również pod względem wartości prędkości fal sejsmicznych strefa "wypaleń" nie różni się od niezmiennego, otaczającego ją górotworu. Można stąd przyjąć, że prędkości średnie dla wzbudzanych na powierzchni fal są w przybliżeniu stałe.

W związku z tym jedyne anomalie, jakich można się spodziewać, należy wiązać ze zmianami zapisu sejsmicznego dla fal odbitych. Zmiany te wywołane mogą być przez zanik pokładów węgla, a co za tym idzie - eliminację silnych granic odbijających.

3. MODELE SEJSMOGEOLOGICZNE

Kompleks karboński jest serią złożoną z dużej ilości warstw o miąższościach znacznie mniejszych od dominującej długości fali. Tworzą go osady mułowcowe, ilaste i piaskowcowe oraz pokłady węgla.

Kontrast gęstości w skałach płonnych, z punktu widzenia sejsmiki, jest niewielki (różnice średnio kilka procent), natomiast na kontakcie skała płonna - węgiel bardzo duży (średnia zmiana gęstości z $2,6 \text{ g/cm}^3$ na $1,4 \text{ g/cm}^3$).

Prędkości warstwowe w górotworze zmieniają się od około 2400 m/s dla węgla do 5200 m/s dla piaskowca. Prędkości w utworach mułowcowych wynoszą od 3200 m/s do 3800 m/s w zależności od stopnia zailenia i zapiaszczenia. Dla ilowców zmieniają się one w granicach od 3100 m/s do 4000 m/s, a dla piaskowców od 3600 m/s do 5200 m/s.

Wartości współczynników odbicia na granicach skał płonnych przy największych kontrastach osiągają wielkość 0,18, a przeciętnie wynoszą około 0,1. Natomiast na granicy węgiel-skała płonna, ze względu na duży kontrast pomiędzy prędkością i gęstością współczynniki odbicia osiągają wartości z przedziału 0,34-0,43, a więc są dużo większe od współczynników w skałach płonnych.

Mając na uwadze powyższe własności górotworu należy spodziewać się, że dynamikę i charakter zapisu sejsmicznego kształtować będą refleksy odbite od pokładów węgla oraz refleksy wielokrotne i długookresowe rewerberacje pomiędzy pokładami a powierzchnią ziemi [2], [3].

Z badań sejsmometrycznych i danych otworowych wynika, że prędkość w skałach płonnych w strefie "wypaleń" nie zmienia się istotnie, a przecierany węgiel przechodzi w utwory ziemiste o parametrach fizycznych zbliżonych do skał otaczających.

Na tej podstawie autorzy przyjęli koncepcję, że przy zaniku pokładów węgla musi nastąpić zmniejszenie kontrastu twardości akustycznych, a co za tym idzie - obniżenie wartości współczynnika odbicia do wartości przeciętnej w górotworze. W celu przeanalizowania wpływu budowy górotworu na

zapis sejsmiczny autorzy wykonali teoretyczne modelowania zapisu dla różnych modeli profilu karbońkiego dla odwiertów Moszczenica 21 i Jastrzębie 12. Modele sejsmogeologiczne karbonu opracowano w oparciu o wyniki pomiarów profilowania akustycznego prędkości (PAP).

Obliczenia teoretycznego obrotu falowego (sejsmogramy syntetyczne) wykonano dla:

- modeli zawierających pełny profil karbonu,
- modeli uproszczonych - ekwiwalentnych, w których usunięto pokłady węgla o miąższości poniżej 1 m a skały płonne połączone w warstwy ekwiwalentne,
- modeli uproszczonych, z których kolejno eliminowano serie pokładów węgla, aż do uzyskania modelu bezwęglowego.

Parametry modeli zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

	Ilość warstw	Ilość pokładów węgla	Miąższość pokładów węgla	Nr rysunku
<u>Moszczenica 21</u>				
Pełny	160	32	0,5-3,0	1a
Uproszczony (ekwiwalentny)	47	23	1,0-3,0	2a
Uproszczony (bez 8 pokładów)	39	15	1,0-2,0	3a
Uproszczony (bez 16 pokładów)	31	7	1,0-2,0	3c
Uproszczony (bez węgla)	24	0	-	4a
<u>Jastrzębie 12</u>				
Pełny	83	17	0,3-3,7	1b
Uproszczony	21	10	1,0-3,7	2b
Uproszczony (bez 5 pokładów)	16	5	1,0-2,7	3b
Uproszczony (bez węgla)	24	0	-	4b

Dla tak przyjętych modeli autorzy obliczyli sejsmogramy teoretyczne, używając jako sygnału źródłowego impulsu Berlage'a:

$$A(t) = A_0 e^{-\beta t} \sin(2\pi f_0 t + \varphi) t^\alpha.$$

gdzie:

$$A_0 = 1.$$

$$f_0 = 60 \text{ Hz}, \beta = 180,$$

$$\varphi = 0, \quad \alpha = 1.$$

Wszystkie trasy normalizowano względem swego maksimum.

4. ANALIZA TEORETYCZNEGO OBRAZU FALOWEGO

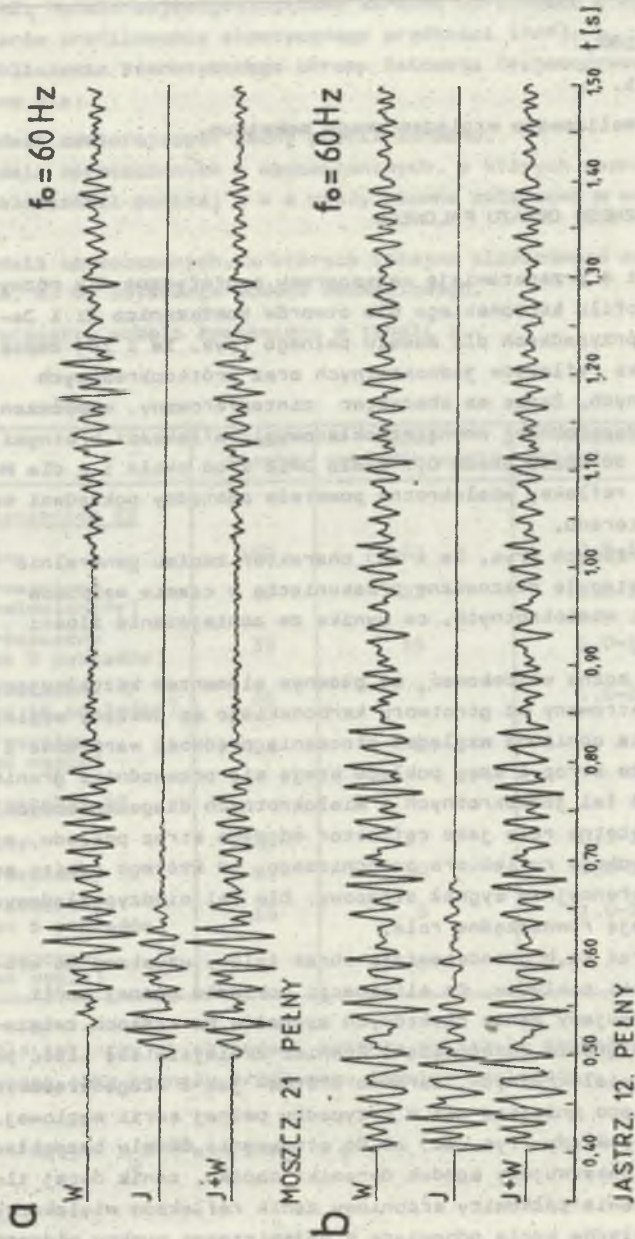
Rysunki 1, 2, 3 i 4 przedstawiają sejsmogramy syntetyczne dla różnych wariantów modelu profilu karbońskiego dla otworów Moszczenica 21 i Jastrzbie 12. W obu przypadkach dla modelu pełnego (rys. 1a i 1b) zapis cechuje duża dynamika refleksów jednokrotnych oraz krótkookresowych refleksów wielokrotnych. Zapis ma charakter zinterferowany, wzmacniony dynamicznie najprawdopodobniej wewnątrzpokładowymi refleksami krotnymi [2], [3]. Począwszy od czasu około 0,7 s dla J-12 i od około 1 s dla M-21 obserwuje się silne refleksy wielokrotne powstałe pomiędzy pokładami węgla a powierzchnią terenu.

Dla modeli uśrednionych (rys. 2a i 2b) charakter zapisu generalnie nie zmienia się. Występują nieznaczne przesunięcia w czasie maksimów refleksów odbitych i wielokrotnych, co wynika ze zmniejszenia ilości granic sejsmicznych.

Na tej podstawie można wnioskować, że głównym elementem kształtującym obraz falowy zarejestrowany od górotworu karbońskiego są pokłady węgla. Ich specyfika (silnie obniżona względem otoczenia prędkość warstwowa i gęstość) powoduje, że strop i spąg pokładu stają się przewodnimi granicami odbijającymi. Dla fal jednokrotnych i wielokrotnych długookresowych można przyjąć, że istotną rolę jako reflektor odgrywa strop pokładu, a jego spąg spełnia funkcję reflektora pomocniczego, od którego odbity sygnał wzmacnia interferencyjnie sygnał stropowy. Dla fal międzypokładowych strop i spąg odgrywają równorzędne role.

Rysunki 3a,b,c oraz 4a,b przedstawiają obraz falowy uzyskany po usunięciu kolejnych serii pokładów. Po eliminacji pokładów górnej serii (rys. 3a i 3b) obserwujemy zanik niektórych sygnałów na czasach związanych z występowaniem granic karbońskich. Również zmniejsza się ilość powstających refleksów wielokrotnych, zarówno krótko- jak i długookresowych. Dynamika ich jest nieco mniejsza niż w przypadku pełnej serii węglowej.

Usuając kolejne pokłady (rys. 3c) aż do otrzymania modelu bezpokładowego (rys. 4a i 4b) obserwujemy spadek dynamiki zapisu, zanik dużej ilości sygnałów oraz prawie całkowity stopniowy zanik refleksów wielokrotnych. Eliminacja pokładów węgla odpowiada z sejsmicznego punktu widzenia przejściu pokładów węgla w utwory o parametrach zbliżonych do skał płonnych. Znikają dwie silne granice (strop i spąg) i zostają zastąpione jedną bądź dwiema granicami o współczynnikach odbicia zbliżonych do wartości średniej w górotworze.



Rys. 1. Sejsmogramy syntetyczne dla modelu pełnego

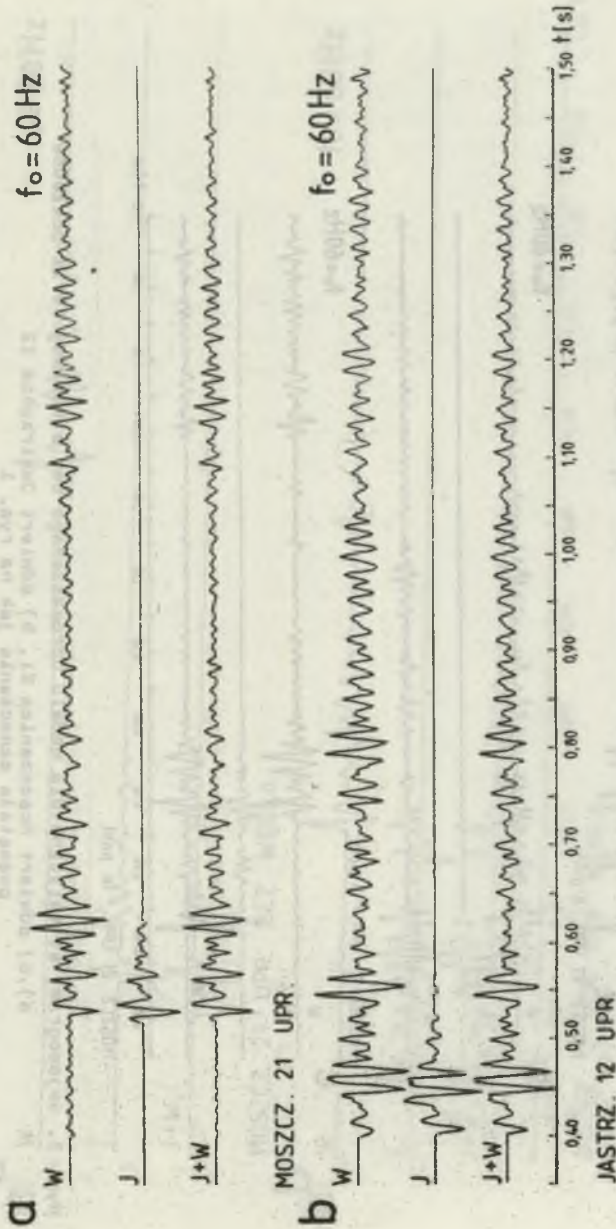
a) odwiert Moszczenica 21, b) odwiert Jastrzębie 12

j - pole fal jednokrotnych, w - pole fal wielokrotnych, j+w - pole całkowite

Fig. 1. Synthetic seismograms for full-model

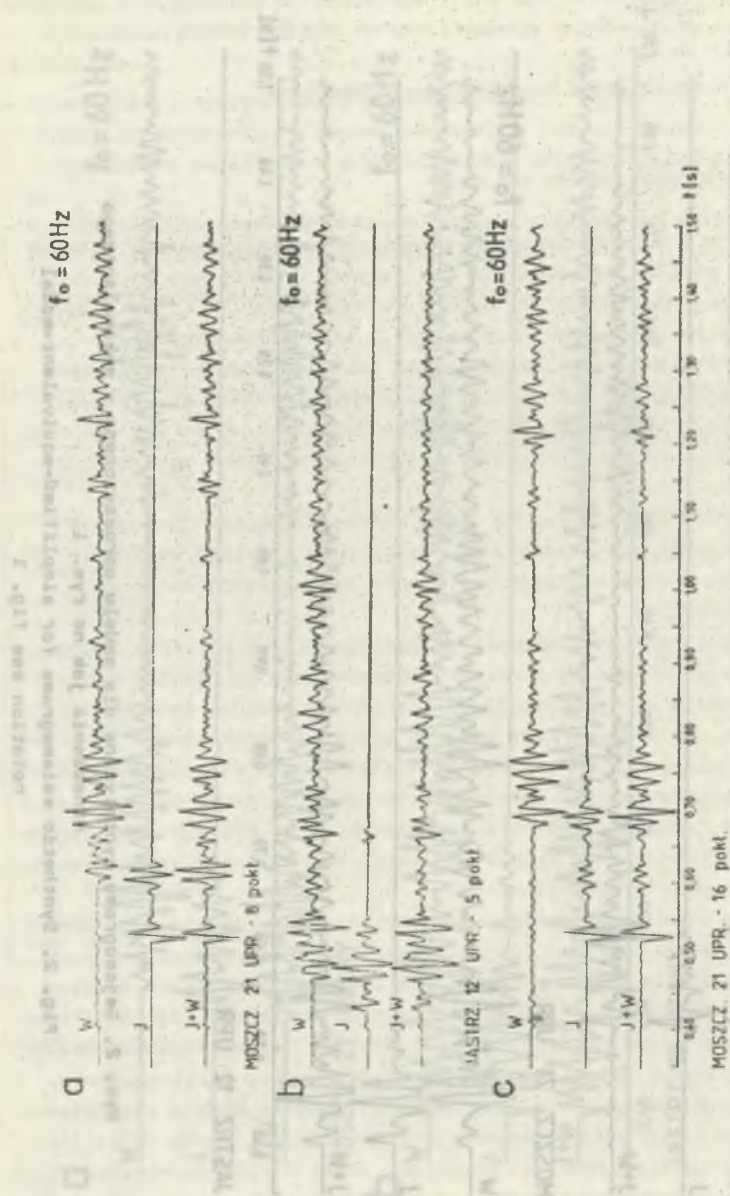
a) for the borehole Moszczenica 21, b) for the borehole Jastrzębie 12

j - primary reflections, w - multiple reflections, j+w - total field



Rys. 2. Sejsmogramy syntetyczne dla modelu uproszczonego - ekwiwalentnego oznaczenia jak na rys. 1

Fig. 2. Synthetic seismograms for simplified-equivalent-model notation see fig. 1



Rys. 3. Sejsmogramy syntetyczne dla modelu uproszczonego bez stropowej serii pokładów

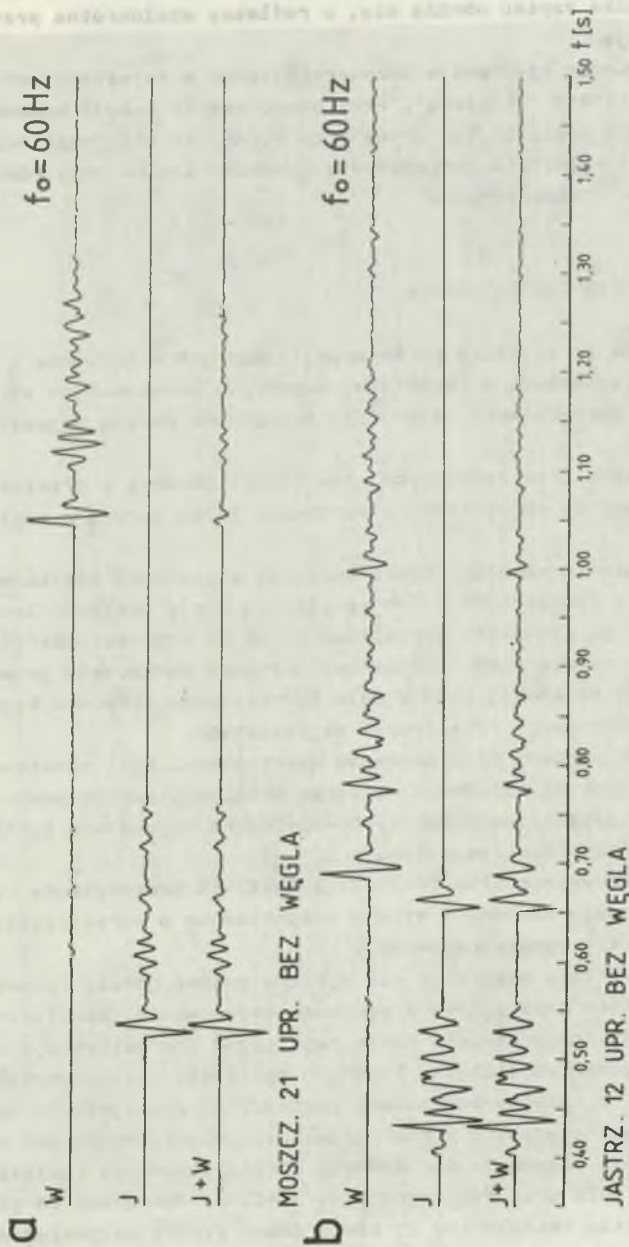
a), c) odłamek Mozczenica 21, b) odłamek Jestrzobia 12

pozostałe oznaczenia jak na rys. 1

Fig. 3. Synthetic seismograms for simplified-model after rejecting coal seams

a), c) the borehole Mozczenica 21, b) the borehole Jestrzobia 12

other notation see fig. 1



Rys. 4. Sejsmogramy syntetyczne dla modelu bezwęglowego oznaczenia jak na rys. 1

Fig. 4. Synthetic seismograms for coal-lease model notation see fig. 1

Z przeprowadzonego modelowania widać, że przy braku choćby kilku pokładów węgla dynamika zapisu obniża się, a refleksy wielokrotne przynajmniej w części zanikają.

Fakt ten powinien mieć swoje odzwierciedlenie w rejestracjach polowych uzyskanych nad strefą "wypaloną". Przy odwzorowaniu sekcji czasowej w formie rzeczywistych amplitud (po procedurze ELKAN) strefa "wypalona" powinna zaznaczyć się w postaci zmniejszenia dynamiki zapisu przy równoczesnym zaniku refleksów wielokrotnych.

5. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Dla powiązania stref zmian parametrów fizycznych w karbonie z charakterem obrazu sejsmicznego w rejonie występowania domniamyanych stref "wypaleń" wykonano eksperymentalne profile sejsmiczne metodą sejsmiki węglowej.

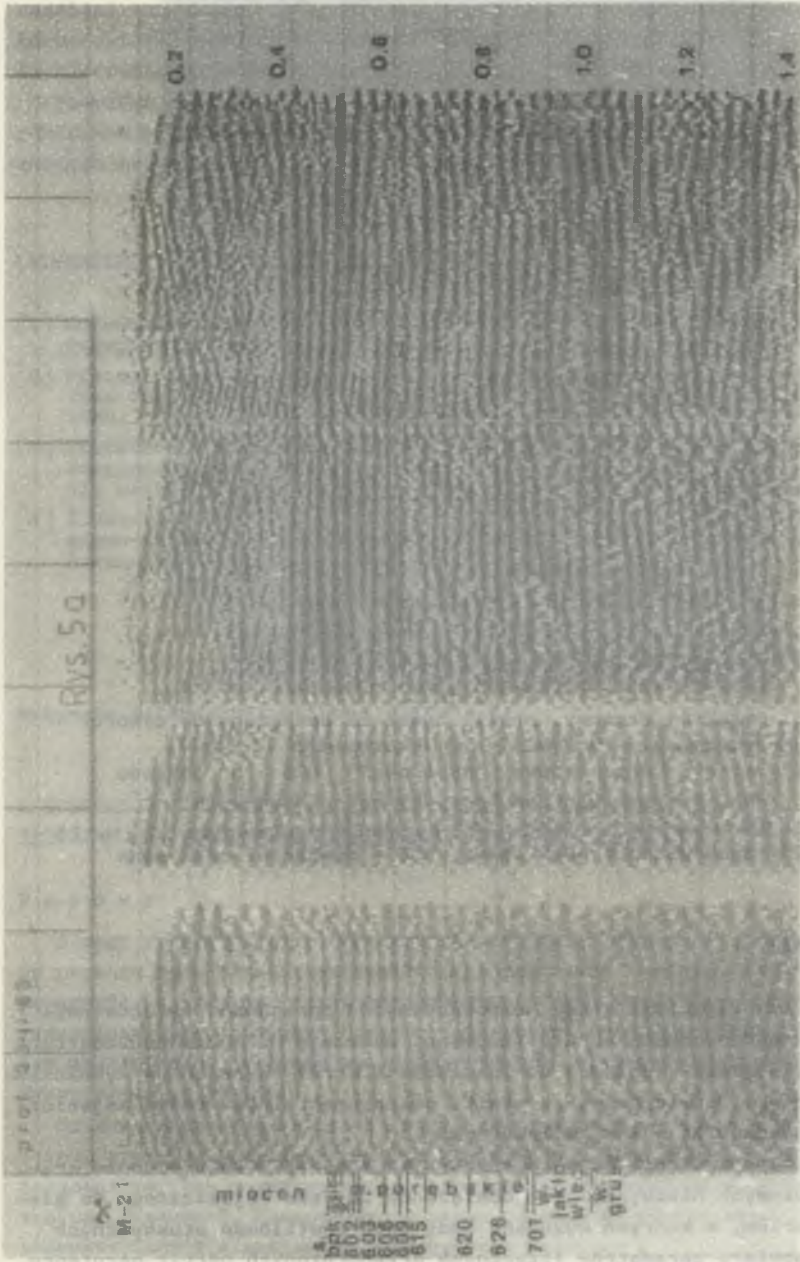
Zarówno metodykę prac terenowych jak i cykl obróbki i przetwarzania danych dostosowano do specyficznych warunków, jakie panują w zagłębiach węglowych [4].

W celu zwiększenia rozdzielczości poziomej i pionowej zastosowano specjalne rozstawy o długości 96 m (48 kanałów co 2 m). Wielkość ładunków wynosiła $Q = 200$ g, głębokość strzelania 20-40 m, krotność pokrycia 6, krok próbkowania zapisu 2 ms. Dodatkowo dokonano punktowego grupowania odbiorników (trzy na kanał) oraz w celu podniesienia stosunku sygnału do szumu składania pionowego rejestracji sejsmicznych.

Uzyskany zapis poddano przetwarzaniu systemowemu. Cykl przetwarzania rozwiniętego obejmował: składanie względem wspólnego punktu powierzchniowego, filtrację częstotliwościową 13-20-80-120 Hz, procedurę ELKAN, dekonwolucję oraz analizę trasy zespolonej.

Dwa profile eksperymentalne FF-II-83 i 3a-II-83 poprowadzone były nad strefą niezmiennego karbonu i strefą bezpokładową o wzrastającej miąższości, aż do strefy wyeksploatowanej.

Wzdłuż tych profilów obserwuje się wyraźną zmianę obrazu falowego. Charakter tych zmian jest zgodny z wynikami modelowania teoretycznego. W rejonie niezmiennego karbonu zapis sejsmiczny charakteryzuje się dużą dynamiką i występowaniem silnych, licznych refleksów wielokrotnych. Wzrost miąższości strefy bezpokładowej prowadzi do zmniejszenia dynamiki zapisu i ilości występujących w nim refleksów wielokrotnych. Nad strefą wyeksploatowaną nie obserwuje się żadnych korelujących się refleksów. Rysunek 5 przedstawia przekrój sejsmiczny 3a-II-83 dowiązany do głębokich odwiertów. W otworze Moszczenica 21 stwierdzono strefę bezpokładową o miąższości około 60 m (rys. 5a), a w otworze Moszczenica 17 miąższość ta wynosi około 350 m (rys. 5b).

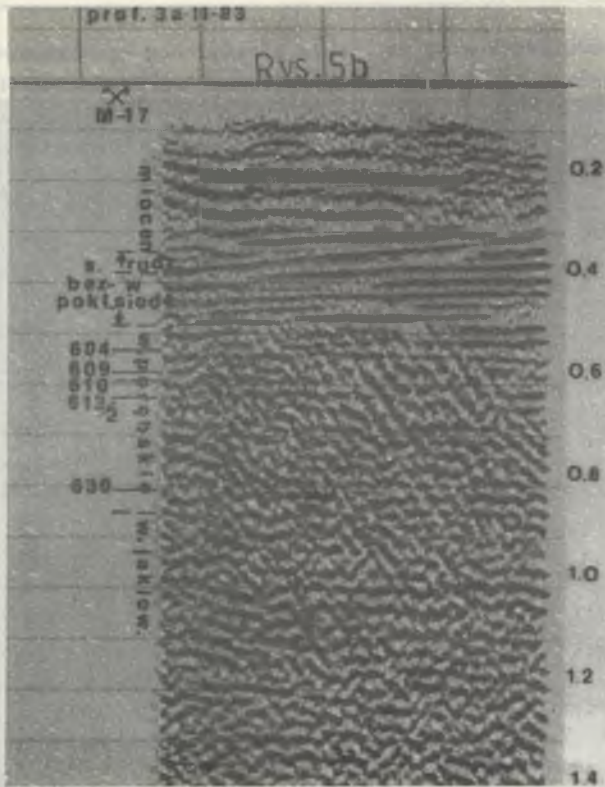


Rys. 5. Przekrój czasowy, profil 3a-II-83 dowiązany do otworu

a) Moszczenica 21 (M-21)

Fig. 5. Time section 3a-II-83 correlated with

a) borehole Moszczenica 21 (M-21)



Rys. 5. Przekrój czasowy, profil 3a-II-83 dowiązany do otworu
a) Moszczenica 21 (M-21), b) Moszczenica 17 (M-17)

s.bpk - strefa bezpokładowa ("wypalona"), 606 - nr pokładu

Fig. 5. Time section 3a-II-83 correlated with

a) borehole Moszczenica 21 (M-21), b) borehole Moszczenica 17 (M-17)

s.bpk - zone without coal seams, 606 - number of coal seam

6. ZAKOŃCZENIE

Kryteria identyfikacji stref bezpokładowych, opracowane na podstawie modelowania teoretycznego obrazu falowego, wskazują na możliwość zastosowania metody sejsmiki węglowej do lokalizacji stref "wypaleń" w Rybnickim Okręgu Węglowym. Potwierdzają to wyniki eksperymentalnych badań sejsmicznych przeprowadzonych w KWK Moszczenica.

Zaproponowane kryteria mają charakter jakościowy. W celu podania kryteriów ilościowych niezbędne jest dowiązanie zdjęcia sejsmicznego do głębokich odwiertów, w których wykonane będą obok profilowań akustycznych prędkości, pomiary parametrów fizycznych przeobrażonych partii górotworu.

Umożliwi to stworzenie optymalnych modeli sejsmogeologicznych górotworu karbońskiego, które w powiązaniu z teoretycznym obrazem falowym pozwolą na ilościową interpretację rejestrowanego sejsmicznego obrazu złoża.

Powyzsze zagadnienia byly przedmiotem referatu pt. "Wplyw pstrych utworow z KWK Moszczenica na charakter teoretycznego obrazu falowego", wygloszonego na X Sympozjum - Geologia Formacji Węglonośnych Polski.

LITERATURA

- [1] Borowski J.: Pstre utwory w kopalni "Jastrzębie" i "Moszczenica", Przegląd Geologiczny, 1969, nr 8.
- [2] Pietsch K.: Korelacja pokładów węgla z granicami sejsmicznymi (w języku rosyjskim) - "30 Międzynarodowe Sympozjum Geofizyczne". Moskwa 1985.
- [3] Pietsch K., Ślusarczyk R.: Zastosowanie sejsmiki o zwiększonej rozdzielności do badania ciągłości pokładów węgla. "Konf. nt. Zastosowanie metod geofizycznych w górnictwie kopalni stałych". Jaworze 1985.
- [4] Ślusarczyk R.: Nieciągłości granic w sejsmie węglowej w świetle podziemnych badań geofizycznych (w języku rosyjskim). "30 Międzynarodowe Sympozjum Geofizyczne". Moskwa 1985.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz CHMURA

Wpłynęło do Redakcji w lutym 1987 r.

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ЛОКАЛИЗАЦИИ БЕСПЛАСТОВЫХ ЗОН С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕЙСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Резюме

В ходе горных работ в каменноугольной шахте "Моценига" в слоях карбонского периода были обнаружены пятнистые образования (так называемые зоны "выжигания"), в которых физические свойства горных пород были подвергнуты изменениям. Эти изменения создают возможность применения сейсмических методов исследования угольных месторождений для наблюдения за зонами исчезновения угольных пластов.

На основании теоретического моделирования волновой картины были разработаны критерии идентификации беспластовых зон. Для полной модели карбона волновая картина характеризуется проявлением интенсивных одно- и многократных отражений. Исключение угольных пластов из модели ведет к уменьшению динамики записи и затуханию многократных рефлексов.

Экспериментальные исследования на местности подтвердили правильность предложенных критериев идентификации беспластовых зон, обнаруженных в глубоких геологических скважинах.

A POSSIBILITY OF LOCALIZATION OF COAL-LESS ZONES USING THE COAL SEISMIC METHOD

Summary

In the course of mining works the presence of mottled formations (the so-called "burn out" zones) in which the changes of physical rock properties were found, was noted in the Carboniferous layers in the "Mszczeni-ca" Coal Mine. These property changes make possible to apply the coal seismic method for surveying the zones of the coal seams decay.

Criteria of identification of coal-less zones were determined on the basis of modeling of the theoretical wave image. The wave image in the complete Carboniferous model contains intensive primary and multiple reflections. On the other hand elimination of coal seams from the model results in the decrease of recording dynamics and the decay of multiple reflections.

Correctness of the presented identification criteria for identification of coal-less zones, in the case of deep geological wells, was confirmed in experimental field surveys.

