

Jerzy DEC

Jerzy KOWALCZUK

Kaja PIETSCH

Ryszard ŚLUSARCZYK

Akademia Górniczo-Hutnicza

Kraków

PROJEKTOWANIE METODYKI POWIERZCHNIOWYCH BADAŃ SEJSMICZNYCH
W CELU ROZPOZNANIA GÓROTWORU KWK "SILESIA"

Streszczenie. Rozpoznanie budowy warstw węglonośnych wymaga zastosowania metody sejsmicznej o zwiększonej rozdzielczości. Parametry metodyczne sejsmiki węglowej można określić metodą modelowania teoretycznego obrazu falowego dla modeli sejsmogeologicznych odwzorowujących budowę górotworu. Podstawowe parametry metodyczne, które wyznaczono dla warunków geologiczno-górnicych KWK "Silesia", dotyczą źródła drgań, metodyki prac pomiarowych oraz przetwarzania.

1. WSTĘP

Dobór optymalnych parametrów metodycznych sejsmiki węglowej możliwy jest jedynie na podstawie modelowania zjawiska propagacji fal sejsmicznych w górotworze. Szczegółowa analiza teoretycznych zapisów sejsmicznych, obliczonych dla modeli sejsmogeologicznych o różnym stopniu szczegółowości, przy zastosowaniu sygnałów sejsmicznych o zmieniających się parametrach, umożliwia rozpoznanie podstawowych składników pola falowego oraz określenie roli, jaką w jego tworzeniu odgrywają poszczególne elementy złoża. Dzięki temu możliwa jest ocena przydatności wybranego wariantu metodycznego do rozpoznania budowy interesujących warstw, a w tym konkretnym przypadku pokładów węgla przewidzianych do eksploatacji. Analiza ta umożliwia również określenie kryteriów geologicznej interpretacji sejsmicznego obrazu złoża.

W związku z powyższym kolejne zadania badawcze, które zostały wykonane przy rozwiązaniu postawionego problemu, to:

- konstrukcja modeli sejsmogeologicznych odwzorowujących budowę górotworu na podstawie danych geologicznych, geofizycznych i górniczych,
- konstrukcja teoretycznego obrazu falowego oraz ocena odwzorowania w zapisie sejsmicznym pokładów węgla,
- konstrukcja teoretycznych sekcji sejsmicznych oraz ocena odwzorowania w zapisie sejsmicznym zmian budowy, a przede wszystkim stref nieciągłości górotworu,

- opracowanie podstawowych parametrów metodycznych sejsmiki węglowej dla górotworu KWK "Silesia".

MODELE SEJSMOGEOLICZNE GÓROTWORU KWK "SILESIA"

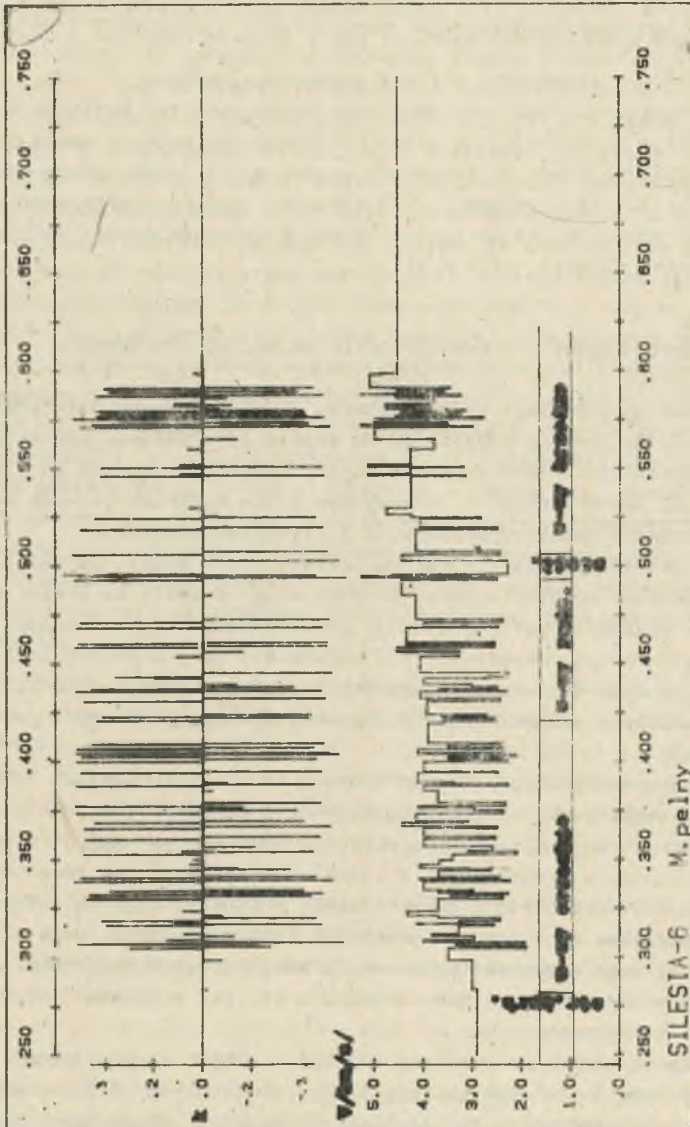
Konstruując model sejsmogeologiczny górotworu węglowego kopalni "Silesia" należy rozpatrzyć przede wszystkim budowę utworów karbonu i jego nadkładu..

Profil karbonu w północnej części kopalni rozpoczynają warstwy łaziskie należące do krakowskiej serii piaskowcowej (westfal C), w południowej zaś warstwy orzeskie, wchodzące w skład serii mułowcowej (westfal B). Obie te serie zalegają na silnie zredukowanej górnośląskiej serii piaskowcowej (warstwy rudzkie i siodłowe - westfal A, namur B-C). Interesującą z górniczego punktu widzenia część profilu karbońskiego kończy pokład 510, który np. w odwiercie Si-15 występuje na głębokości 1257 m, a w odwiercie Si-6 na głębokości 798 m. Osady karbonu, których strop stanowi powierzchnię erozyjną, przykryte są utworami trzeciorzędowymi (miocen) oraz cienką warstwą osadów czwartorzędowych. Miąższość nadkładu wzrasta od ok. 150 m w części północno-zachodniej (Si-9 - 154 m) do ok. 450 m w części południowej i południowo-wschodniej (Si-6 - 434 m).

Cykliczna budowa osadów karbonu produktywnego, w którym liczne cyklotemy węglowe poprzedzielane są skałami płonnymi (od mułowców do piaskowców) odbija się wyraźnie w rozkładzie parametrów sejsmogeologicznych. Ich zmienność obrazują najlepiej profilowania akustyczne prędkości. W rejonie kopalni "Silesia" pomiary takie wykonano w odwiercie Silesia 6 (rys. 1). Wykres prędkości w obrębie utworów karbonu wykazuje dużą zmienność, co jest związane z naprzemianległym występowaniem warstw o niewielkich miąższościach (od centymetrów do kilkadziesiątu metrów) i zróżnicowanej litologii. Minimalne wartości prędkości wynoszą ok. 1900 m/s, maksymalne zaś ok. 5300 m/s.

Dominacja w poszczególnych seriach węglonośnych jednego typu litologicznego umożliwiła przyjęcie stałej prędkości dla całej serii. Dla krakowskiej serii piaskowcowej (warstwy łaziskie) $V = 3\ 100$ m/s, dla górnej części serii mułowcowej (warstwy orzeskie) $V = 3\ 400$ m/s, a dla dolnej części (warstwy rudzkie) $V = 4\ 000$ m/s, dla górnośląskiej serii piaskowcowej (warstwy siodłowe) $V = 5\ 000$ m/s, a dla warstw brzeźnych $V = 4\ 300$ m/s. Dla węgla przyjęto stałą prędkość $V_w = 2\ 410$ m/s.

Brak oznaczeń gęstości w badanym górotworze spowodował konieczność przyjęcia średnich wartości gęstości na podstawie danych literaturowych [1, 5]. Gęstości te dla różnych typów litologicznych wynoszą odpowiednio: węgiel - $1,4$ g/cm³, iłowce - $2,6$ g/cm³, mułowce - $2,67$ g/cm³ i piaskowce - $2,58$ g/cm³ (dla serii mułowcowej i górnośląskiej serii piaskowcowej) oraz $2,3$ g/cm³ (dla krakowskiej serii piaskowcowej).



Rys. 1. Model sejsmogeologiczny odwiertu Si-6

V (km/s) - prędkość warstwowa, k - współczynniki odbicia

Fig. 1. The seismic-geological model of the Si-6 bore-hole

V (km/s) - interval velocity, k - reflection coefficients

Analiza danych geologiczno-geofizycznych z nadkładu karbonu wskazuje, że tę część przekroju geologicznego można potraktować jako ośrodek jednorodny.

Przedstawione powyżej parametry sejsmogeologiczne (miaższość, prędkość warstwowa i gęstość) wskazują, że z sejsmicznego punktu widzenia górotwór KWK "Silesia" można aproksymować modelem, który zawiera kolejno:

- warstwę jednorodną o miaższości ok. 200 m (osady miocenu),
- kompleks cienkowarstwowy odpowiadający utworom karbonu (od westfalu C po namur B), w którym powtarzają się pakiety zawierające pokłady węgla i towarzyszące im skały płonne. Wyjątkowe własności węgla (niska prędkość rozchodzenia się fal sprężystych $V = 2\ 410$ m/s oraz niewielka gęstość $\rho = 1,40$ g/cm³) powodują, że na kontakcie węgla ze skałą płonną występują duże współczynniki odbicia ($k > 0,3$).

TEORETYCZNY OBRAZ FAŁOWY PIONOWEGO PROFILU SEJSMOGEOLOGICZNEGO

Obecność w przekroju geologicznym kompleksu cienkowarstwowego determinuje powstające pole falowe. Szczególną cechą zapisu sejsmicznego powstającego w takich ośrodkach jest jego interferencyjny charakter. Wynika on z nakładania się odbić jednokrotnych z intensywnym polem krótkookresowych refleksów wielokrotnych, wewnątrzpokładowych i międzypokładowych.

Modelowanie zjawiska propagacji fal sejsmicznych dla modeli sejsmogeologicznych o parametrach utworów karbonu produktywnego pozwala na znalezienie związku pomiędzy występującymi w przekroju sejsmogeologicznym pokładami węgla a zapisem sejsmicznym. Określenie tej zależności jest z jednej strony podstawą do opracowania kryteriów interpretacji sejsmicznego obrazu złoża, z drugiej zaś umożliwia sformułowanie podstawowych założeń metodycznych sejsmiki węglowej.

Do modelowania teoretycznego obrazu falowego na obszarze kopalni "Silesia" zastosowano sejsmogramy syntetyczne liczone w dziedzinie częstotliwości. Algorytm tych sejsmogramów pozwala na obliczenie odbić jednokrotnych i wielokrotnych powstających w cienkich warstwach, jak również obliczenie współczynników odbicia i przechodzenia w funkcji częstotliwości.

Pomiary profilowania akustycznego prędkości (PA) z otworu Silesia 6 (rys. 1) posłużyły jako materiał wejściowy do konstrukcji modeli sejsmogeologicznych o różnym stopniu szczegółowości, dla którego wykonano szeroki zakres modelowań teoretycznych.

Sejsmogramy syntetyczne dla odwiertu Silesia 6 obliczono przyjmując jako sygnał wejściowy sygnał teoretyczny Puzyriewa o dominującej częstotliwości $f_0 = 30, 60, 90, 120, 150$ i 180 Hz. Analiza obliczonych sejsmogramów umożliwiła określenie roli, jaką w tworzeniu pola falowego odgrywają fale jedno- i wielokrotne; wykazała, że sejsmiczny obraz utworów karbonu produktywnego jest przede wszystkim związany z pokładami węgla oraz pozwoliła na stwierdzenie, że geologiczna identyfikacja zapisu sejsmicznego możliwa będzie je-

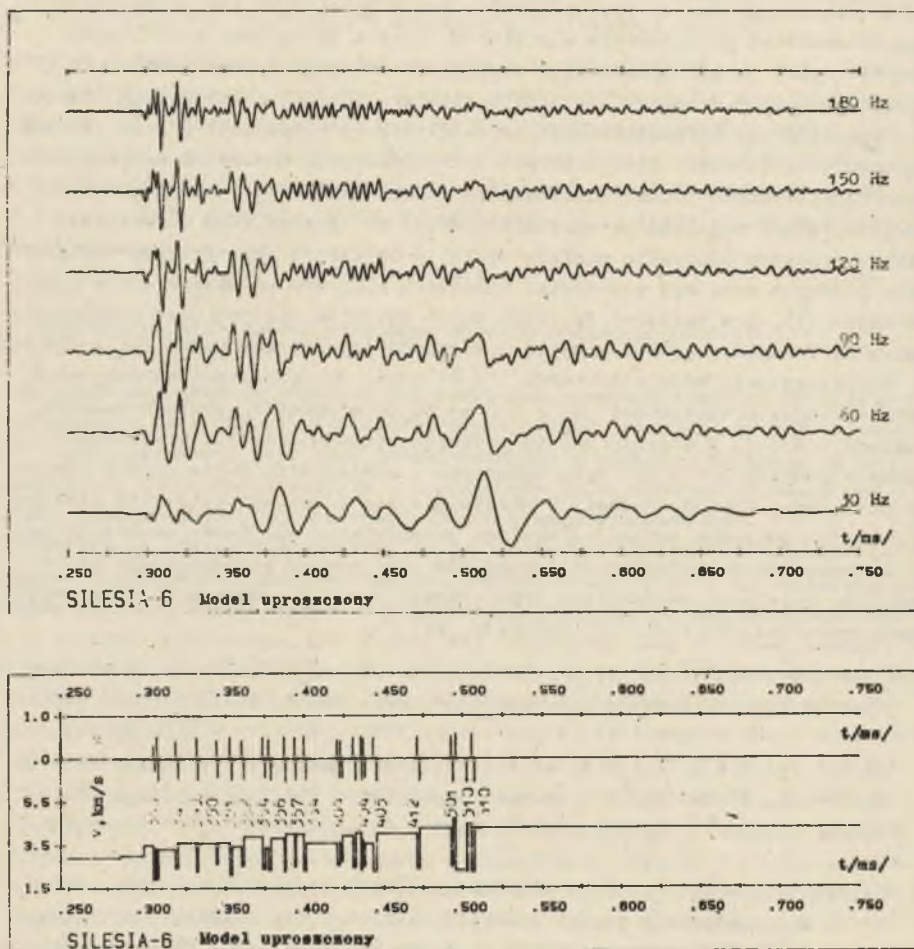
dynie wtedy, gdy model sejsmogeologiczny dopasowany jest do rozdzielczości sygnałów sejsmicznych, uwarunkowanej ich częstotliwością dominująca [4]. Dopasowanie modelu sejsmogeologicznego i rozdzielczości zapisu poprzez nieograniczone podnoszenie częstotliwości dominującej sygnałów sejsmicznych jest niemożliwe do wykonania w praktyce. Wynika to zarówno z możliwości technicznych, jakimi dysponują przedsiębiorstwa geofizyczne (aparatura i sprzęt pomiarowy oraz systemy przetwarzania), jak i z faktu dużego tłumienia sygnałów wysokoczęstotliwościowych w trakcie propagacji w rzeczywistym ośrodku geologicznym. Inna metoda - to upraszczanie modelu sejsmogeologicznego, bez tracenia jednak informacji o podstawowych granicach sejsmicznych. Wykonane modelowania wykazały bowiem, że istotną rolę w tworzeniu obrazu falowego odgrywają pokłady węgla, w związku z czym granice wewnętrzne skał płonnych mogą być pominięte. Pominięte mogą być również cienkie pokłady węgla [2], tym bardziej że celem badań sejsmiki węglowej jest rozpoznanie warunków zalegania pokładów węgla o miąższościach bilansowych ($h_w \geq 0,8$ m).

W uproszczonym modelu odwiertu Si-6 (rys. 2a) pozostawiono wszystkie pokłady węgla o miąższości $h_w \geq 1,0$ m. Są to w obrębie warstw orzeskich pokłady 346-357, w obrębie warstw rudzkich pokłady 364-412, w warstwach siodłowych pokłady 501 i 510 oraz brzeźnych - pokład 610. Serie warstw występujące między tymi pokładami, a składające się z różnego typu skał płonnych i cienkich pokładów węgla, zastąpiono jednorodnymi warstwami ekwiwalentnymi.

Sejsmogramy syntetyczne obliczone dla tego modelu przedstawione są na rys. 2b. Korelacja sejsmogramu impulsowego (rys. 2a - wykres k) z sejsmogramami syntetycznymi (rys. 2b) wykazuje, że:

- dla częstotliwości bardzo wysokich (120, 150 i 180 Hz) zapis sejsmiczny odtwarza wszystkie pokłady z wyjątkiem tych, które oddalone są od siebie tylko o kilka metrów (354, 355 - 3,5 m; 404/1, 404/2 - 0,8 m; 404/4, 404/5 - 1,5 m i 501, 510 - 4,0 m). Uzyskany zapis jest jednak, począwszy od czasu 0,375 ms (refleks związany z pokładem 354 i 355) mało zróżnicowany dynamicznie, co utrudniałoby jego korelację wzdłuż profilu sejsmicznego;
- dla częstotliwości wysokiej (90 Hz) korelacja jest podobna aż do pokładu 364/1. Dla pokładów w warstw rudzkich obserwuje się natomiast nieznaczne przesunięcie maksymalnych amplitud zapisu względem współczynników odbicia. Trasa uzyskana dla tej częstotliwości jest wyraźnie zróżnicowana dynamicznie, co na pewno ułatwiałoby poziomą korelację zapisu;
- dla częstotliwości średnich (60 Hz) przesunięcie czasowe dominujących refleksów występuje już począwszy od pokładu 352, choć generalnie rzecz biorąc, zapisy dla częstotliwości 60 i 90 Hz są podobne;
- dla częstotliwości niskich (30 Hz) nie obserwuje się korelacji sejsmogramu impulsowego z teoretycznym polem falowym.

Odwiert Silesia 6 jest jedynym na obszarze KWK "Silesia", w którym wykonano profilowanie akustyczne prędkości. Ponieważ jest on peryferyjnie usytu-



Rys. 2. Teoretyczny obraz falowy odwiertu Si-6 - model uproszczony
 a - wykres współczynników odbicia (k), wykres prędkości warstwowych (V),
 b - sejsmogramy syntetyczne

Fig. 2. The simplified model (I) of theoretical wave image for the Si-6 bore-hole
 a - the plot of reflection coefficients (k), the plot of interval velocities (V), b - synthetic seismograms

owany w stosunku do rejonu, gdzie przeprowadzone były pomiary sejsmiczne, a dodatkowo nie zawiera pełnego profilu utworów karbońskich (brak warstw łaziskich z pokładami serii 200 oraz górnej części warstw orzeskich), obliczone dla modelu sejsmogeologicznego odwiertu Si-6 teoretyczne pole falowe może nie w pełni oddawać charakter pola falowego rejestrowanego w północnej części kopalni. Spowodowało to konieczność obliczenia sejsmogramów syntetycznych również dla otworów, w których brak pomiarów PA, ale które zlokalizowane są na obszarze badań (odwiertu Silesia 6, Silesia 15, Silesia 7).

Modele sejsmogeologiczne tych odwiertów opracowano na podstawie danych geologicznych z otworów, przypisując różnym seriom litologicznym prędkości i gęstości zgodne z wartościami podanymi wcześniej.

Identyfikacja teoretycznego pola falowego modeli sejsmogeologicznych odwiertów Si-7, Si-9 i Si-15 umożliwia sformułowanie wniosków identycznych ze szczegółowymi wnioskami opracowanymi dla odwiertu Si-6.

Reasumując, korelacja teoretycznego zapisu sejsmicznego z modelami sejsmogeologicznymi górotworu dla wszystkich analizowanych odwiertów wykazuje, że sejsmiczny obraz złoza odwzorowuje budowę bilansowych pokładów węgla górotworu KWK "Silesia" wtedy, gdy:

- modele sejsmogeologiczne karbonu niezbędne do identyfikacji zapisu sejsmicznego są uproszczone i zawierają jedynie pokłady węgla o większej miąższości, które oddalone są od siebie o kilkanaście i więcej metrów. Przy mniejszej odległości między pokładami zapis sejsmiczny odwzorowuje jedynie wiązkę pokładów,
- dla modeli uproszczonych (z zachowaniem warstw węgla o miąższości 1 metra i większej) zaznacza się dobra korelacja położenia pokładów z refleksami o wybijającej się dynamice dla zapisu o dominującej częstotliwości 90 Hz,
- zapis uzyskany dla modeli uproszczonych i dla częstotliwości dominującej $f_0 = 60$ Hz nie pozwala wprawdzie na identyfikację pojedynczych dominujących refleksów, ale dzięki podobieństwu z zapisem 90 Hz umożliwia powiązanie konkretnych wiązek pokładów z charakterystycznym obrazem pola falowego (np. seria pokładów 501, 510 i 610, seria pokładów 404-405).

SYNTETYCZNE PROFILE SEJSMICZNE

Występowanie w teoretycznym polu falowym, obliczonym dla sygnałów sejsmicznych o częstotliwościach z przedziału 60-90 Hz, refleksów dominujących, które odtwarzają budowę bilansowych pokładów węgla, stwarza obiektywną szansę na uzyskanie, za pomocą badań sejsmiki węglowej, informacji o budowie podstawowych dla kopalni "Silesia" serii pokładów.

Geologiczna interpretacja sejsmicznego obrazu złoza, niezbędna przy wykorzystaniu wyników sejsmiki węglowej w pracach geologiczno-górnictwowych wymaga nie tylko powiązania granic sejsmicznych z granicami litologicznymi,

ale również wyznaczenia stref nieciągłości zapisu sejsmicznego oraz określenia ich przyczyn geologicznych.

Analiza przekrojów geologicznych wskazuje, że pomiędzy odwiertem Silesia 9 i Silesia 15 występuje uskok zrzucający o ok. 50 m zachodnią część górotworu. Strefa uskokowa powinna wyraźnie zaznaczyć się na przekroju sejsmicznym, ponieważ pola falowe obliczone dla tych odwiertów są bardzo zbliżone, dzięki czemu możliwa będzie korelacja zapisu sejsmicznego wzdłuż profilu.

Opierając się na danych sejsmogeologicznych dla odwiertu Si-9 i Si-15 oraz danych z przekroju geologicznego, opracowano uproszczony profil sejsmogeologiczny, który był podstawą do konstrukcji syntetycznego profilu sejsmicznego. Uproszczeń w profilu dokonano zgodnie z wynikami przedstawionych wcześniej modelowań teoretycznych.

W modelu tym uwzględniono tylko te pokłady węgla, które decydują o charakterze obrazu falowego. Położenie zaznaczonych na modelu stref uskokowych przyjęto na podstawie wyników interpretacji sekcji czasowych i głębokościowych z profilu 3-W-84K. Wielkości zrzutów uskoków wyznaczono opierając się na korelacji pokładów węgla między otworami. Uskok w pobliżu otworu Si-15 przecina cały karbon, a drugi uskok obejmuje tylko pokłady położone poniżej pokładu 323. Dla tak przyjętego modelu sejsmogeologicznego obliczono syntetyczne profile sejsmiczne.

Do obliczenia teoretycznej sekcji czasowej przyjęto impuls Puzyriewa o parametrach $f_0 = 60$ Hz i $\beta = 100$. Zastosowanie takiego sygnału wynika zarówno z wcześniejszej analizy modelowania teoretycznego obrazu falowego, jak i praktycznych aspektów wzbudzenia takiego sygnału. Częstotliwość ta zapewnia dostateczną rozdzielczość zapisu i jest możliwa do uzyskania przy wzbudzaniu sygnałów materiałami wybuchowymi.

Syntetyczny profil sejsmiczny przedstawiony jest na rys. 3. Profil ten zestawiono z sejsmogramami syntetycznymi, które obliczono dla odwiertów Si-9, Si-15 zlokalizowanych na końcach profilu. Dzięki temu zestawieniu możliwa jest geologiczna identyfikacja śledzonych refleksów.

Analiza teoretycznego profilu sejsmicznego wykazuje, że:

- zastosowanie sygnału 60 Hz zapewnia wystarczającą rozdzielczość zapisu, umożliwiając korelację przewodnich pokładów węgla z refleksami dominującymi,
- zapis 60 Hz umożliwia dobrą lokalizację stref uskokowych,
- strop karbonu odtworzony jest bardzo dobrze w zapisie sejsmicznym.

WNIOSKI METODYCZNE SEJSMIKI WĘGLOWEJ DLA GÓROTWORU KWK "SILESIA"

Wykonane modelowania teoretycznego obrazu falowego wskazują, że przy zastosowaniu sejsmiki powierzchniowej istnieje realna szansa rozpoznania górotworu KWK "Silesia" pod kątem projektowania i budownictwa górniczego. Zastosowanie odpowiednio dobranej metodyki badań sejsmicznych pozwala bowiem

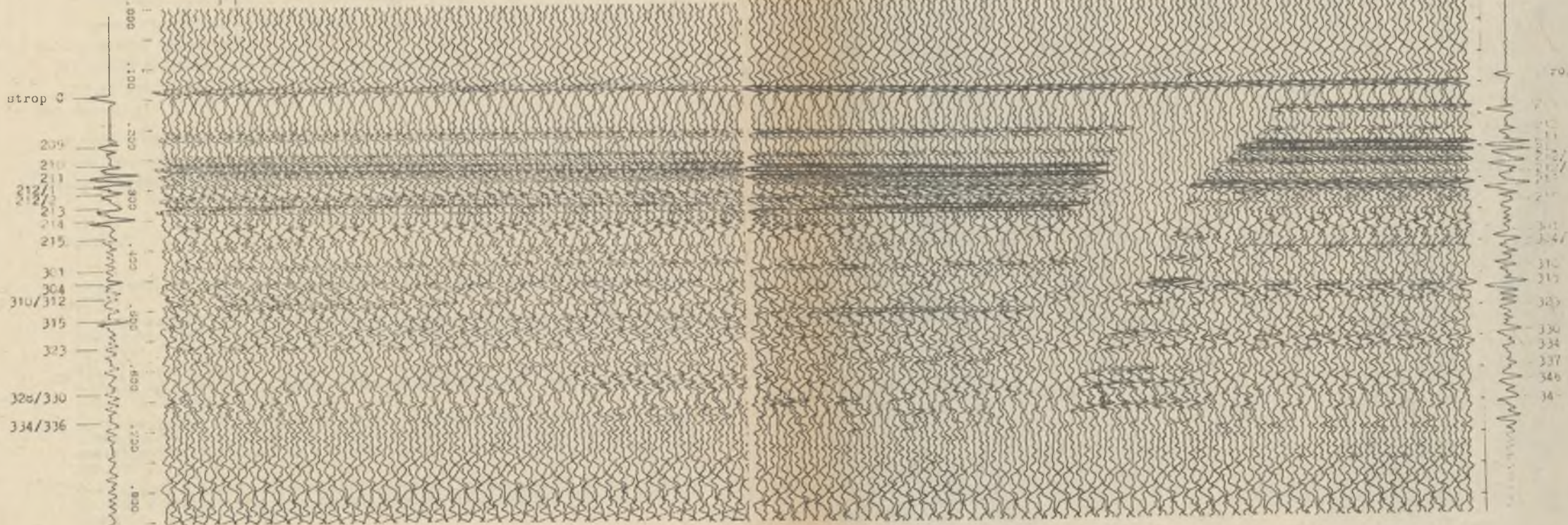
Jilesia 9

profil 3 - W - 04 X

Jilesia 15

31-15

31-9



strop 0

209

210

211

212/213

214

215

301

304

310/312

315

323

325/330

334/336

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

na dowiązanie bilansowych pokładów węgla do przewodnich granic sejsmicznych co umożliwi rozpoznanie przestrzennego ułożenia i ciągłości pokładów oraz lokalizację stref uskokowych.

Podsumowując wyniki modelowania teoretycznego dla KWK "Silesia", jak i wyniki badań, które wykonano w celu rozpoznania Lubelskiego Zagłębia Węglowego [3], można sformułować wymagania w odniesieniu do metodyki badań sejsmicznych mających na celu szczegółowe rozpoznanie budowy górotworu karbońskiego.

Autorzy uważają, że metodyka taka wymaga zastosowania:

- 1) eksplozywnego źródła drgań,
- 2) składowania pionowego i poziomego małych ładunków materiału wybuchowego
- 3) krótkich rozstawów, małych odsunień, małych odległości między kanałami i punktami wzbudzenia,
- 4) kroku próbkowania równego lub mniejszego od 1 ms,
- 5) systemu pomiarowego dostosowanego do zapisu wysokorozdzielczego o dużej dynamice.

W celu określenia liczbowych wartości poszczególnych parametrów konieczne jest wykonanie szerokiego zakresu prac doświadczalnych, które muszą poprzedzać prace produkcyjne.

LITERATURA

- [1] Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej. Wyd. Śląsk, Katowice 1982.
- [2] Pietsch K.: Analiza zależności obrazu sejsmicznego złoża od budowy geologicznej Lubelskiego Zagłębia Węglowego na podstawie modelowań teoretycznych. Zeszyty Naukowe AGH 1160 Geologia z. 27, 1988.
- [3] Ślusarczyk R.: Metody sejsmiczne o zwiększonej rozdzielczości w zastosowaniu do rozpoznania budowy złoża węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe AGH 1172 Geologia z. 40.
- [4] Opracowanie MIG AGH: Ocena możliwości wykorzystania metody sejsmicznej o zwiększonej rozdzielczości do wyznaczania nieciągłości górotworu karbońskiego KWK "Silesia" na podstawie teoretycznego obrazu falowego. PAN DHN 1987.
- [5] Opracowanie MIG AGH: Udoskonalenie metodyki rozpoznawania mikrotektoniki złożeń w oparciu o powierzchniowe badania geofizyczne. CPBP 03.01. temat 30.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Wacław Zuberek

Wpłynęło do redakcji w kwietniu 1988 r.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПОВЕРХНОСТНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРОЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В РАЙОНЕ
КАМЕННОУГОЛЬНОЙ ШАХТЫ "СИЛЕЗИИ"

Р е з ю м е

Исследование строения угольного бассейна требует применения высоко-разрешающей сейсмической методы. Параметры методики угольной сейсмики можно определить по теоретическому моделированию сейсмической картины для сейсмогеологических моделей, отражающих строение реальной среды. Основные методические параметры определенные для горно-геологических условий каменноугольной шахты "Силезия", относятся к источнику колебаний, к методике полевых работ и к обработке измерительных данных.

THE DESIGN OF SURFACE SEISMIC INVESTIGATIONS FOR THE
ROCK-MASS RECOGNITION IN THE "SILESIA" COAL MINE

S u m m a r y

For the recognition of coal-bearing beds high resolution seismic method is needed. The methodical parameters of coal seismics may be determined by means of theoretical modelling of wave image for the seismogeological models of rock-mass structure. The basic methodical parameters have been determined for the geological and mining conditions of the "Silesia" coal mine; they refer to the seismic source, field techniques and processing.