

Zbigniew MOTYKA

Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Zastosowanie metody uproszczonej szerokopasmowej holografii sejsmicznej do odwzorowania pustek przypowierzchniowych

Streszczenie

Omówiona została uproszczona metoda szerokopasmowej holografii sejsmicznej oraz możliwości jej zastosowania do odwzorowania pustek przypowierzchniowych. Przedstawiono pokrótce zasady techniki rejestracji hologramów sejsmicznych, a także metodę rekonstrukcji numerycznej obrazów obiektów podziemnych z takich hologramów. Pokazano, w jaki sposób technika ta została przetestowana w trakcie badań modelowych. Omówiona została technika uzyskiwania hologramów jednoczęstotliwościowych z zarejestrowanych w trakcie prześwietlania sejsmicznego sygnałów szerokopasmowych. Przedstawiono wyniki rekonstrukcji numerycznej hologramów amplitudowych, fazowych i amplitudowo-fazowych uzyskane z prześwietlania sejsmicznego fragmentu wyrobisk korytarzowych KD „Barbara”.

1. Wprowadzenie

W ciągu ostatnich trzech dziesięcioleci dał się zauważyć szczególnie intensywny rozwój technik akustycznych w szerokim zakresie od ultradźwięków do fal sejsmicznych. Znajdują one zastosowanie głównie w medycynie, defektoskopii i geofizyce. Jedną z grup takich technik opartą jest na metodzie holografii - ultradźwiękowej, akustycznej, sejsmicznej - zależnie od zakresu częstotliwości stosowanych fal sprężystych.

Holografia sejsmiczna, to metoda pozwalająca odtworzyć akustyczne własności górotworu lub przypowierzchniowych warstw podziemnych na podstawie dwuwymiarowego zapisu frontu fałowego. Wywodzi się ona z holografii akustycznej wzorowanej na stosowanej w optyce technice utrwalania obrazu trójwymiarowego na płaskiej płycie fotograficznej w postaci tzw. hologramu. W miejsce spójnej fali elektromagnetycznej (światła laserowego), wykorzystywanej do zapisu i tradycyjnej rekonstrukcji takiego obrazu, w holografii akustycznej do zapisu obrazu wykorzystuje się rozchodzące się w ośrodku sztucznie generowane fale sprężyste.

W przypadku fal sejsmicznych, monochromatyczny front fałowy może zostać wyekstrahowany z sygnału szerokopasmowego metodami numerycznymi. Pozwala to na uzyskanie hologramu sejsmicznego czy to w postaci reprezentacji graficznej czy to jedynie w postaci macierzy numerycznej.

W holografii sejsmicznej pierwsze próby rekonstrukcji przebiegu struktur podziemnych wiązały się z wykorzystaniem techniki rekonstrukcji obrazu w świetle laserowym, stosowanej powszechnie w holografii akustycznej.

Równolegle, w holografii akustycznej rozwinięte zostały numeryczne techniki rekonstrukcji obrazu wykorzystujące zasadę Kirchhoffa-Huygensa do rekonstrukcji pola sejsmicznego

(jego amplitudy i/lub fazy) wewnątrz badanego ośrodka sejsmogeologicznego.

Rekonstrukcja frontu falowego w trzech wymiarach jest tym, co najdobitniej odróżnia metody holograficzne od metod tomograficznych. W najbardziej zaawansowanych z tych ostatnich dokonuje się rekonstrukcji w ogólności krzywoliniowych trajektorii promieni. Najbardziej reprezentatywne techniki w obu grupach metod (tomografia dyfrakcyjna i holografia wieloczęstotliwościowa) pozwalają na uzyskanie zbieżnych rezultatów co do kształtu i struktury samego obiektu, i mimo, że różnią się one dość znacznie w swej genezie, można pokazać, że stosowane w nich matematyczne algorytmy rekonstrukcji są w istocie bardzo zbliżone.

Metody holograficzne można podzielić na jednoczęstotliwościowe i wieloczęstotliwościowe (Motyka 1999). Różnią się one od siebie liczbą monochromatycznych składowych fali stosowanych do uzyskania hologramów oraz sposobami rekonstrukcji na ich podstawie obrazu obiektu.

W niniejszej pracy przedstawiono prostszą z tych metod - metodę transmisyjnej szerokopasmowej holografii sejsmicznej wykorzystującej przybliżenie Fouriera do jednoczęstotliwościowej rekonstrukcji numerycznej obrazu obiektu podziemnego utrwalonego na hologramie (Motyka 2000).

2. Holografia sejsmiczna - podstawy teoretyczne i techniki realizacji

2.1 Synteza sejsmicznych hologramów transmisyjnych

Podczas rejestracji sygnałów sejsmicznych dla potrzeb syntezy hologramów sejsmicznych, dąży się w istocie do uzyskania danych zawierających możliwie kompletną informację o dyskretnym rozkładzie (na siatce pomiarowej $N \times N$) zespolonych wartości sejsmicznego frontu falowego biegnącego od punktowego źródła fali sejsmicznej do siatki na powierzchni poprzez interesujący nas obiekt podziemny:

$$h_n = A_n \exp(i\Phi_n) \quad (2.1)$$

gdzie:

n - współrzędne węzła siatki pomiarowej w notacji wektorowej,
 Φ_n - faza sygnału o danej częstotliwości wyliczona w węźle pomiarowym n ,
 A_n - amplituda składowej fali sejsmicznej o danej częstotliwości w węźle n .

W zależności od przyjętych założeń co do zakresu uwzględnianej informacji, uzyskać możemy następujące warianty syntetycznych hologramów sejsmicznych:

- hologram fazowy: $A_n = 1$, tzn. $h_n = \exp(i\Phi_n)$,
- hologram amplitudowy: $\Phi_n = 0$, tzn. $h_n = A_n$
- hologram amplitudowo-fazowy: $h_n = A_n \exp(i\Phi_n)$.

Przy założeniu bezdyspersyjności sejsmicznych fal sprężystych, słusznym na pewno lokalnie, tzn. dla niezbyt dużych przedziałów częstotliwości takich fal, w n -tym węźle siatki łatwo możemy uzyskać informację fazową na podstawie czasu przejścia t_n czoła fali sejsmicznej (lub jego opóźnienia Δt_n w stosunku do detektora referencyjnego):

$$\Phi_n = 2\pi v (t_n \bmod T) \quad (2.2)$$

gdzie $T=1/v$, a v oznacza przyjętą częstotliwość quasi-monochromatycznej fali sejsmicznej. Ostatnie równanie stanowi zapis operacji numerycznej redukcji różnicy fazy między falą obie-

ktową i falą odniesienia. Uzyskiwane w ten sposób hologramy komputerowe nazywane bywają *kinoformami*.

W celu uzyskania amplitudy A_n dla danej częstotliwości pola falowego w n -tym punkcie siatki, możemy wyliczyć jednopunktową dyskretną składową Fouriera:

$$F_{nv} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K s_{n,t} \exp(-i 2\pi v k \Delta t) \quad (2.3)$$

zapisanego w n -tym węźle sygnału $s_{n,t}$ i wykorzystać jej moduł $A_n = |F_{nv}|$. Tutaj v oznacza częstotliwość wybranej fali składowej, $K \Delta t$ - długość przedziału czasu sygnału poddawanego transformacie Fouriera, a Δt - krok podziału tego przedziału czasu na K odcinków dyskretnych.

2.2 Metody rekonstrukcji hologramów akustycznych (sejsmicznych)

Istnieją dwie zasadnicze grupy rekonstrukcji hologramów akustycznych: rekonstrukcja laserowa i rekonstrukcja numeryczna. W przypadku hologramów sejsmicznych, niewielka ich rozdzielczość zdaje się przemawiać za ograniczeniem się tylko do rekonstrukcji numerycznej i ta właśnie metoda rekonstrukcji prezentowana jest w niniejszej pracy.

Rekonstrukcja numeryczna hologramu sejsmicznego może zostać zrealizowana bez jego przekształcenia do postaci graficznej niezbędnej przy rekonstrukcji laserowej. Polega ona na wykorzystaniu dyskretnej wersji tzw. całki Fresnela-Kirchhoffa za pomocą, której - wychodząc od zarejestrowanego frontu falowego $h_{x'}$ (gdzie $x' = (x', y')$ w przyjętej przez nas dwuwymiarowej notacji wektorowej) - możliwe jest uzyskanie zrekonstruowanego obrazu tego frontu falowego w odległości z_0 od płaszczyzny hologramu. Należy pamiętać, że punktem wyjścia jest obraz frontu falowego $h_{x'}$ (jego fazy i/lub amplitudy) określony jedynie w płaszczyźnie hologramu. Powstał on w wyniku zaburzenia sejsmicznego sygnału wyjściowego przez badaną przez nas strukturę przestrzenną zlokalizowaną na głębokości z_0 i w pewnym sąsiedztwie tej głębokości.

Całka Fresnela, wykorzystywana jako baza w procesie rekonstrukcji numerycznej obrazu obiektu z hologramu sejsmicznego, stanowi przybliżenie całki dyfrakcji Kirchhoffa opisującej niezależną od czasu część rozwiązania równania fali monochromatycznej (w próżni, w przypadku fali elektromagnetycznej, lub w jednorodnym ośrodku bezdyspersyjnym – w przypadku fali sejsmicznej). Całka dyfrakcji Kirchhoffa stanowi matematyczny zapis faktu, że każdy punkt na powierzchni H hologramu jest źródłem fali sferycznej o amplitudzie początkowej $h_{x'}$.

Do obliczeń wykorzystywane jest zwykle przybliżenie Fresnela całki Kirchhoffa. Na ogół przyjmuje się, że jest ono słuszne dla przypadku dalekiego pola, tzn., gdy $z_0^2 \gg (x'^2 + y'^2)_{\max}$.

Dodatkowo, na przestrzeni prezentowanej pracy, przyjęte zostało przybliżenie, które nazwaliśmy przybliżeniem Fouriera (przybliżenie to bywa też nazywane przybliżeniem Fraunhofera, stosuje się ono bowiem do tzw. obszaru Fraunhofera dalekiego pola), gdyż umożliwia sprowadzenie problemu do obliczenia dwuwymiarowej odwrotnej transformaty Fouriera bezpośrednio z funkcji reprezentującej hologram.

Przybliżenie Fouriera stanowi uproszczenie, mogące w ogólności prowadzić do deformacji zrekonstruowanego obrazu, gdy stosuje się je do rekonstrukcji obrazu z hologramu Fresnela uzyskiwanego dla przypadku bliskiego pola (kiedy to a jest porównywalne z z_0). Pomimo to, przybliżenie takie (przybliżenie Fouriera) zostało zastosowane na przestrzeni prezentowanej pracy w procesach rekonstrukcji obrazu i *a posteriori* okazało się, że daje ono wystarczająco

dobrych wyników jakościowych, pozwalających na uzyskanie informacji o obecności i ogólnym kształcie badanego obiektu podziemnego.

W przypadku hologramu sejsmicznego (w ogólności akustycznego) rozwiązanie f_n równania falowego w przybliżeniu Fouriera może zostać przedstawione w swej dyskretnej postaci jako:

$$f_n = \sum_k h_k \exp\{i 2\pi(\mathbf{kn})/N^2\} \quad (2.4)$$

gdzie:

kn oznacza iloczyn skalarny $\mathbf{kn} = kn + lm$ par $\mathbf{k}=(k,l)$ i $\mathbf{n}=(n,m)$; $k,l,n,m=1,\dots,N$. Dla uproszczenia przyjmujemy też wszędzie w wersji dyskretnej, że jednostką długości jest krok s siatki pomiędzy sąsiednimi węzłami siatki $N \times N$.

Wzór ten przyjmowany był w praktyce za punkt wyjścia dla uzyskania przez autora obrazów rekonstrukcji z transmisyjnych hologramów (sejsmicznych) omawianych w prezentowanej pracy.

3. Synteza i rekonstrukcja numeryczna prostych hologramów syntetycznych

W celu sprawdzenia przydatności przybliżonej metody rekonstrukcji, dokonano analiz prostych hologramów dwupunktowych. Poniżej przedstawiono dwa z nich: jeden zsyntetyzowany według schematu bezsoczewkowego hologramu Fouriera (gdy obiekt i źródło odniesienia znajdują się w tej samej płaszczyźnie równoległej do powierzchni hologramu), drugi według schematu Leitha-Upatnieksa (gdy źródło odniesienia leży za obiektem patrząc od strony hologramu i jest przesunięte w bok od osi prostopadłej do powierzchni hologramu H , przechodzącej przez jego środek).

W celu rekonstrukcji tych przykładowych hologramów wykorzystany został opisany wyżej schemat odwrotnej dwuwymiarowej transformaty Fouriera. Celem tych obliczeń było sprawdzenie, czy jego zastosowanie pozwoli na rozdzielenie rekonstruowanych obrazów wcześniej symulowanych numerycznie obiektów punktowych.

Dwa symulowane punktowe źródła reprezentowały obiekt znajdujący się w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny hologramu, a jedno dodatkowe było traktowane jako źródło fali odniesienia. Ich wzajemne konfiguracje zostały zebrane w tabeli 3.1. Przyjęto długość fali $\lambda=8$ oraz krok siatki $s=1$.

Założono, że wysłały one trzy fale sferyczne o tej samej amplitudzie i długości fali ($\lambda=8$). Amplitudy tych fal były sumowane w węzłach siatki 20×20 reprezentującej hologram. Wyznaczano ich składową rzeczywistą, urojoną oraz moduł w każdym punkcie siatki.

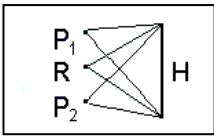
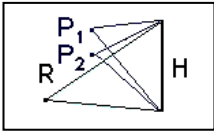
Trzy górne diagramy na każdym z dwóch omawianych rysunków przedstawiają kolejno część rzeczywistą, część urojoną i moduł hologramu syntetycznego. Diagramy dolne odpowiednio: część rzeczywistą, część urojoną i moduł zrekonstruowanego obrazu symulowanego obiektu dwupunktowego. Widzimy, że o ile na obraz 2 punktów zrekonstruowany na podstawie bezsoczewkowego hologramu Fouriera nakłada się obraz źródła odniesienia (rys.3.1), o tyle jest on znacznie słabszy w przypadku hologramu Leitha-Upatnieksa (rys.3.2). Ich odległości liniowe uległy przeskalowaniu ze względu na specyficzny charakter metody rekonstrukcji - odmienny od przyjętej metody syntezy hologramów.

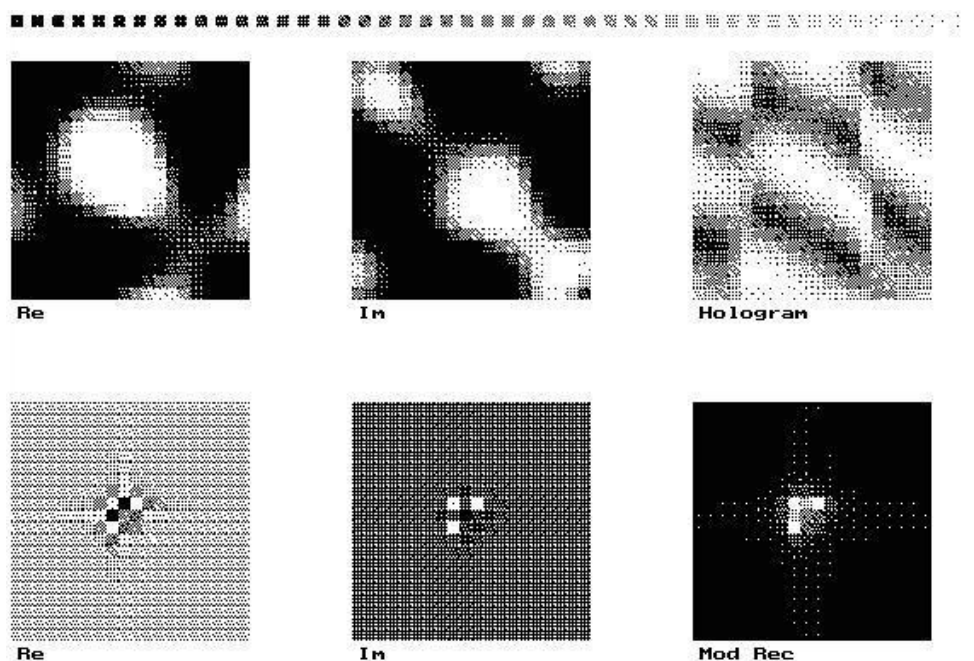
Tabela 3.1

Przykłady dwupunktowych hologramów modelowych

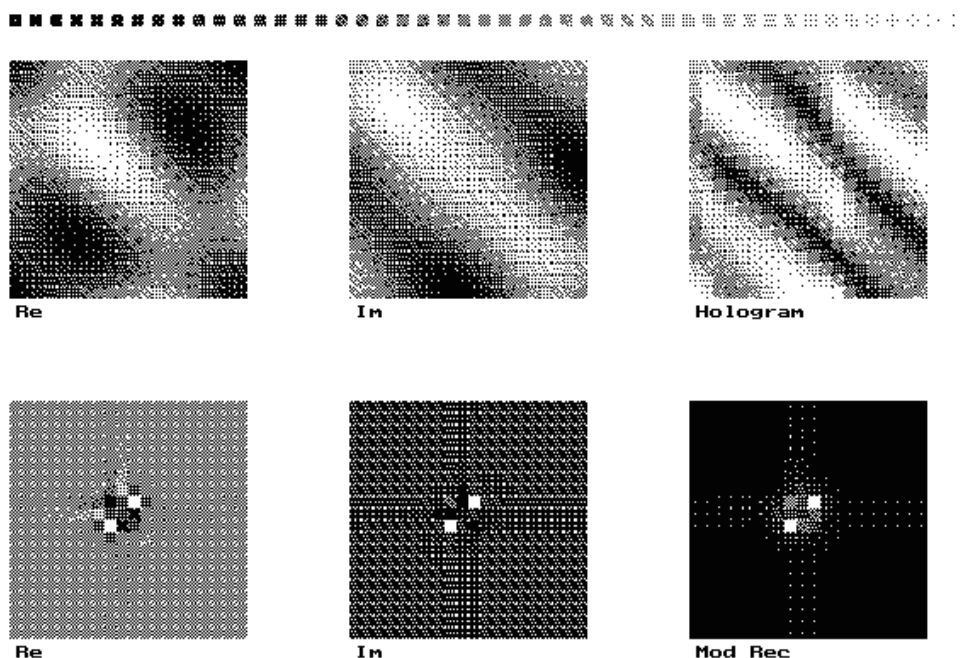
Table 3.1

The examples of 2-point synthetic holograms

Schemat graficzny	Typ hologramu	Współrzędne pierwszego punktu obiektu P_1	Współrzędne drugiego punktu obiektu P_2	Współrzędne źródła odniesienia R
	Bezsoczewkowy Fouriera	(20 , 0 , 20)	(0 , 20 , 20)	(0 , 0 , 20)
	Leitha-Upatnieksa	(20 , 0 , 20)	(0 , 20 , 20)	(0 , 0 , 40)



Rys. 3.1 Bezsoczewkowy hologram Fouriera dwóch punktów i jego rekonstrukcja. Moduł rekonstrukcji (prawy dolny diagram) ukazuje wyraźnie uwidocznione na zrekonstruowanym obrazie źródło odniesienia (lewy górny jasny punkt obrazu na diagramie modułu rekonstrukcji)
 Fig. 3.1 Fourier lensless hologram of the two-point-object and its image reconstruction. The reference point-source is clearly distinguishable as the bright top left point of the image at the diagram of the modulus of reconstruction (bottom right diagram)



Rys. 3.2 Hologram Leitha-Upatnieksa dwóch punktów i jego rekonstrukcja. Moduł rekonstrukcji (prawy dolny diagram) ukazuje wyraźnie obrazy obydwu punktów. Źródło odniesienia nie zostało uwidocznione

Fig. 3.3 The Leith-Upatnieks hologram of two-point-object and its reconstruction. The clear image of two points of the object was obtained (the bottom right diagram of the modulus of reconstruction). The reference point-source is not present

4. Badania na modelu

Dla symulacji procesu polowego prześwietlania sejsmicznego przetestowano specjalnie przygotowany model laboratoryjny, który stanowiła kostka betonowa o boku 0,6 m, z zatopionymi w niej elementami ołowianymi ograniczającymi pustkę o rozmiarach porównywalnych z rozdzielczością możliwą do uzyskania z użyciem zastosowanej aparatury pomiarowej. Szkic modelu przedstawiono na poniższym rysunku (rys.4.1a).

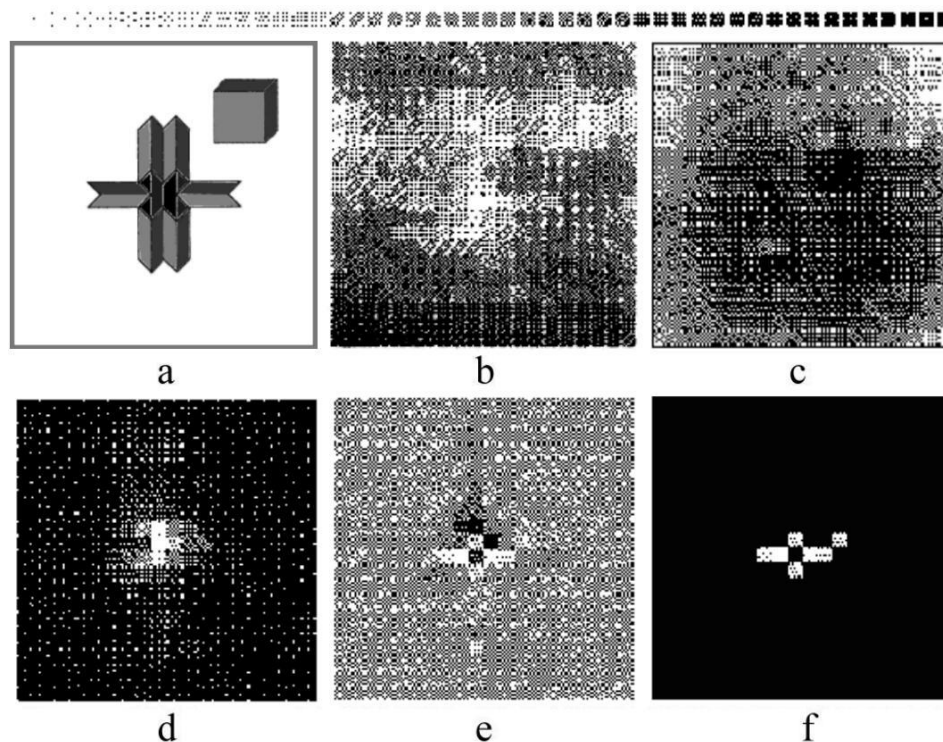
Średni czas przejścia przez obszar betonu pozbawiony zaburzeń modelowych, przy kontrolnym prześwietlaniu równoległym (rys. 4.1b), wyniósł około 0,150 ms, co daje prędkość w betonie równą 4000 m/s. Przyjmijmy ją dla oszacowania rozdzielczości metody. Rozdzielczość D dla obiektu znajdującego się na głębokości d , długości fali λ i apertury hologramu a , określona jest wzorem:

$$D = d \arcsin(\lambda/a) \quad (4.1)$$

Dla $\lambda=0.1$ m ($v=40$ kHz), apertury hologramu $a=0,6$ m i głębokości obiektu dla modelu $d=0,3$ m wynosiła ona około 0,05 m, co stanowiło połowę długości fali.

Do generowania i rejestracji fali ultradźwiękowej w celu uzyskania hologramów fazowych użyto miernika materiałów typ 543 produkcji ELPAN. Głowicę nadawczą 004T40 umieszczono na środku ściany nadawczej. Przy użyciu głowicy odbiorczej 004R40 rejestrowano

sygnały docierające do przeciwległej ściany odbiorczej, przez dociskanie głowicy do stalowych pierścieni umieszczonych w węzłach siatki 20 x 20 z krokiem 26 mm. Odnotowywano czasy przejścia sygnałów między głowicami nadawczą i odbiorczą. Ich mapa graficzna została przedstawiona na rys. 4.1c. Mierzone na modelu czasy przejścia czoła fali od jej źródła do akcelerometru w punkcie \mathbf{n} na siatce pomiarowej mieściły się w przedziale $t_n=0,158-0,183$ ms.



Rys. 4.1 Model pojedynczej pustki otoczonej blokami ołowianymi i zatopionej w kostce betonowej o boku 0,6 m: a) konfiguracja modelu; b) mapa czasów przejścia dla prześwietlania równoległego; c) mapa czasów przejścia dla syntezy hologramu akustycznego; d) moduł obrazu zrekonstruowanego z hologramu; e) i f) część urojona obrazu rekonstrukcji hologramu

Fig. 4.1 The model of a single cavity surrounded by lead blocks and submerged in the 0,6 m concrete cube: a) the model configuration; b) the time-of-flight map for parallel prospecting; c) the time-of-flight map for seismic hologram synthesis; d) the modulus of the image reconstructed from the hologram; e) and f) the imaginary part only of the reconstructed image

Na podstawie odnotowanych za pośrednictwem miernika materiałów czasów przejścia, określono wzajemne przesunięcie fazowe sygnałów w poszczególnych punktach siatki w płaszczyźnie pomiarowej zgodnie z równaniem (2.2), co wystarczyło do syntezy fazowego hologramu akustycznego. Hologram ten poddany został rekonstrukcji numerycznej za pomocą dwuwymiarowej odwrotnej transformaty Fouriera (2.4). Uzyskano w ten sposób obraz obiektu $f_n = F_2^{-1}(h_n)$ w przybliżeniu Fouriera. Na rys. 4.1d przedstawiono moduł obrazu zrekonstruowanego z hologramu, a na rys. 4.1e część urojoną obrazu rekonstrukcji hologramu. Ta ostatnia została przedstawiona również na rys. 4.1f, który uwidacznia tylko te punkty części urojonej

obrazu rekonstrukcji, którym odpowiadają wartości większe od 70% różnicy wartości maksymalnej i minimalnej.

5. Sejsmiczny hologram amplitudowo-fazowy

W celu przetestowania proponowanego sposobu obrazowania przypowierzchniowych struktur podziemnych na obszarach objętych uszkodzeniami górnictwem, dokonano prześwietlenia sejsmicznego leżącego stosunkowo blisko powierzchni modelowego obiektu podziemnego (fragmentu chodników korytarzowych KD "Barbara" w Mikołowie), ze swobodnym dostępem do punktu strzelania pod obiektem. Prześwietlany obiekt leżał na głębokości 20 m. Na głębokości 20 m poniżej obiektu wybrano punkt strzałowy zapewniający bezpośredni dostęp do stropu z piaskowca. Akcelerometry instalowano w 21 x 21 węzłach siatki pomiarowej na powierzchni o wymiarach 50 x 50 m. Rys. 5.1a przedstawia rzut obiektu z punktu strzelania na powierzchnię siatki pomiarowej.

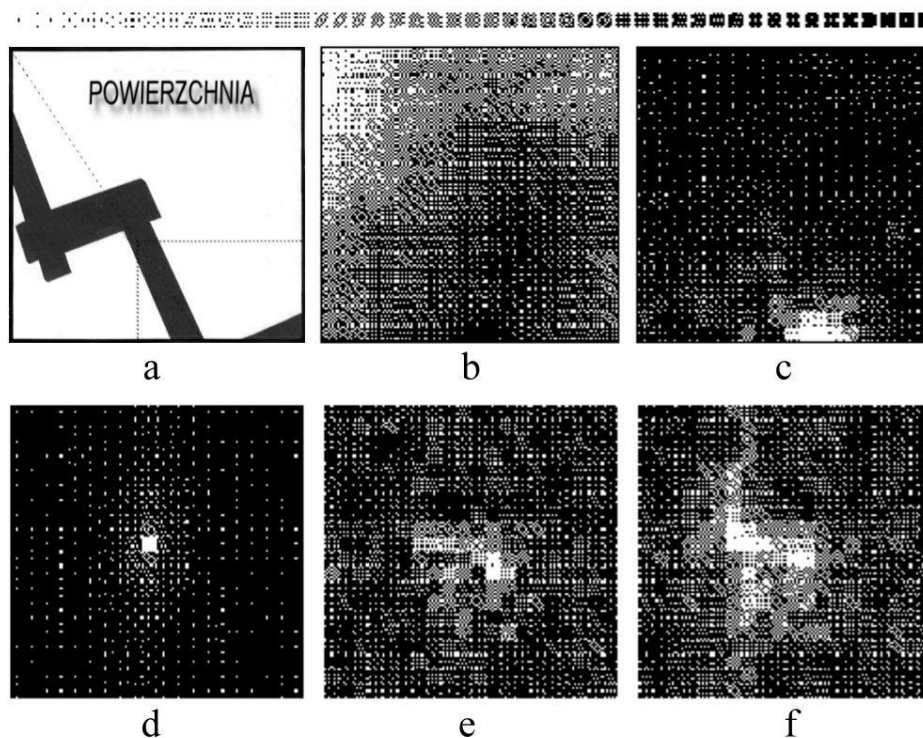
Zestaw pomiarowy do rejestracji danych sejsmicznych składał się z 18 akcelerometrów piezoelektrycznych PS-1PI produkcji GIG, o czułości napięciowej 1000 mV/g w paśmie częstotliwości 0,5-1000 Hz, systemu do transmisji prądowej sygnałów również produkcji GIG oraz 24-kanalowego rejestratora magnetycznego V-Store 24 produkcji Racal Recorders. Po zapisaniu na taśmie VHS sygnały były wczytywane do pamięci komputera osobistego typu IBM PC, wyposażonego w 16-bitową 16-kanalową kartę analogowo-cyfrową HSDAS-16 produkcji Cyber Research, pracującą z sumaryczną częstotliwością próbkowania 200 kHz, w celu ich dalszego przetwarzania.

Zasadniczy cykl pomiarów zrealizowano w dniach 21-23 października 1996 r. Pomiędzy kolejnymi strzelaniami ładunkami dynamitu (250 g) 17 akcelerometrów przemieszczano do kolejnych węzłów siatki. 18-ty, referencyjny, umieszczono na stałe w węźle (19,10).

W procesie przetwarzania danych sejsmicznych do sejsmicznych hologramów fazowych wykorzystano czasy przejścia fali sejsmicznej. Ich mapę przedstawiono na rys. 5.1b. W oparciu o równanie (2.2) wyznaczono dla każdego czasu przejścia fazę fali docierającej do danego węzła siatki na powierzchni, przyjmując $v=200,2$ Hz oraz $\lambda=8,525$ m. Dla uzyskania danych amplitudowych posłużono się analizą Fouriera sygnałów sejsmicznych zapisanych w każdym węźle siatki pomiarowej. W oparciu o równanie (2.3) wyodrębniono dla każdego sygnału jego składową Fouriera dla $v=200,2$ Hz. Moduł tej składowej przyjmowano za amplitudę składowej fali o tej częstotliwości, docierającej do danego węzła. Rozkład tych amplitud w poszczególnych węzłach siatki ilustruje rys. 5.1c. W ten sposób uzyskano komplet danych zapewniających utworzenie hologramu sejsmicznego (2.1). Kolejne trzy diagramy rysunku 5.1 przedstawiają wynik rekonstrukcji obrazu z trzech różnych hologramów sejsmicznych: amplitudowego (rys. 5.1d), fazowego (rys. 5.1e) oraz amplitudowo-fazowego (rys. 5.1f).

Na trzech ostatnich diagramach wyraźnie uwidoczniła została struktura stanowiąca fragment prześwietlanych korytarzy.

Zgodnie z równaniem (4.1) hologram uzyskany na siatce pomiarowej 50 x 50 m, przy użyciu fali o długości 8,525 m, zapewnia rozdzielczość kątową 0,17 rad (9,78°), co - dla obiektu leżącego na głębokości 20 m - daje rozdzielczość 3,4 m.



Rys. 5.1 Rekonstrukcja obrazu z hologramów sejsmicznych: a) rzut prześwietlanej podziemnej struktury położonej na głębokości 20 m na powierzchnię siatki pomiarowej; b) mapa czasów przejścia; c) mapa amplitud składowej $v=200,2$ Hz fali sejsmicznej w płaszczyźnie hologramu; d) moduł rekonstrukcji hologramu amplitudowego; e) moduł rekonstrukcji hologramu fazowego; f) moduł rekonstrukcji hologramu amplitudowo-fazowego

Fig. 5.1 The image reconstruction of seismic holograms: a) the projection of prospected underground structure located at the depth of 20 m onto the surface measurement lattice; b) the map of time-of-flight; c) the map of amplitudes of the $v=200,2$ Hz seismic wave component at the plane of hologram; d) the modulus of reconstruction for amplitude-only hologram; e) the modulus of reconstruction for phase-only hologram; f) the modulus of reconstruction for the phase-amplitude hologram.

6. Podsumowanie

Zasadniczym rezultatem pracy było sprawdzenie przydatności metody w zastosowaniu do detekcji i odwzorowania pustek przypowierzchniowych. Uzyskano dobre jakościowe wyniki potwierdzające przydatność zastosowanej metody dla tych celów. Stosując uproszczoną metodę szerokopasmowej transmisyjnej holografii sejsmicznej (z jednoczesnością rekonstrukcją numeryczną obrazu z hologramu sejsmicznego wykorzystującą przybliżenie Fouriera), możliwe jest uzyskanie wartościowej informacji (w postaci odwzorowania obiektu podziemnego), o ile w grę wchodzi odpowiednia klasa obiektów praktycznie nie transmitujących fali akustycznej (sejsmicznej), a więc obiektów typu pustek, albo też obiektów typu intruzji (płynnych, skalnych) znacznie różniących się impedancją akustyczną od otoczenia.

Istnieją możliwości dalszego rozwijania opisywanej metody w kierunku dokładniejszego odwzorowania rozmiaru i lokalizacji pustek. W przyszłości warto rozważyć wykorzystanie pełnego przybliżenia Fresnela przy rekonstrukcji hologramów sejsmicznych, jak również zwiększenie liczby węzłów siatki pomiarowej. Może to wpłynąć korzystnie na jakość uzyskiwanych obrazów rekonstrukcji.

Literatura

- [1] Motyka Z. 1999: Metoda holografii sejsmicznej w 3D wizualizacji struktur podziemnych. Materiały Sympozjum „Warsztaty '99”, Kraków 1999, 85-99.
- [2] Motyka Z. 2000, Near-surface 3D visualization of underground structures by means of seismic holography, Proceedings of Fourth International Conference on Vibration Measurements by Laser Techniques: Advances and Applications, Ancona 2000, SPIE Proceedings Series Vol. 4072, 553-562.

Method of simplified seismic holography applied for imaging of near surface cavities

The method of simplified wide-band seismic holography and its usefulness for the aims of imaging of near surface cavities were considered. The principles of the seismic holograms synthesis and the method of numerical image reconstruction from such holograms were shortly discussed. The results of modelling and model tests were presented. The method of obtaining of single-frequency holograms from the wide-band seismic signals registered during seismic prospecting was discussed. The results of numerical reconstruction for the amplitude-only, phase-only and phase-amplitude holograms obtained on the basis of seismic prospecting of the part of "Barbara" mine underground galleries were presented.

Przekazano: 30 marca 2001