

Ocena budowy i właściwości sprężystych górotworu metodą interferometrii sejsmicznej

STRESZCZENIE

Głównym celem rozprawy doktorskiej jest pokazanie przydatności metody interferometrii sejsmicznej z wykorzystaniem szumu sejsmicznego do oceny budowy i właściwości sprężystych górotworu naruszonego działalnością górniczą. Cel ten osiągnięto za pomocą specjalnie opracowanej metodyki badań zawierającej procedury stosowane w seismologii, seismice poszukiwawczej oraz seismice inżynierskiej. Metodyka ta polega na zastosowaniu innowacyjnego sposobu przetwarzania i interpretacji danych sejsmicznych wykorzystując takie procedury jak: procedurę usuwania silnych zjawisk sejsmicznych STA/LTA, procedurę estymacji krzywych dyspersji prędkości grupowej FTAN, procedurę analizy kształtowania się wiązki sejsmicznego pola falowego, procedurę jednobitowej normalizacji oraz wybielania spektralnego, rotację komponentów, dwuwymiarową tomografię sejsmiczną metodą SIRT oraz inwersję krzywych dyspersji na model prędkości fali S metodami „sąsiada” i „gradientów”.

Należy podkreślić, że metoda interferometrii sejsmicznej z wykorzystaniem szumu sejsmicznego jest nową metodą w geofizyce inżynierskiej i aktualnie podlega silnemu rozwojowi.

Opracowana metodyka badań została zweryfikowana na terenach górniczych KWK „Borynia-Zofiówka-Jastrzębie” Ruch „Jastrzębie” (opisany jako I rejon badań) oraz KGHM ZG Rudna (II rejon badań), w rejonach prowadzenia eksploatacji. Górotwór objęty badaniami podlegał procesowi osiadania oraz występowała sejsmiczność indukowana działalnością górniczą.

W I rejonie badań zastosowano układ pomiarowy składający się z 11 czujników rozmieszczonych wzdłuż linii profilu o długości ok. 500 m. Profil pomiarowy przecinał filar ochronny o szerokości ok. 70 m oddzielający dwa sąsiadujące Ruchy: „Jastrzębie” i „Moszczenicę”. Wzdłuż profilu pomiarowego, stosując metodę interferometrii sejsmicznej z wykorzystaniem szumu sejsmicznego, odtworzono w pierwszej kolejności propagację fali powierzchniowej Rayleigha pomiędzy wszystkimi kombinacjami czujników. Następnie wykorzystując krzywe dyspersji prędkości fazowej fundamentalnej mody tej fali estymowano 14 modeli 1D pola prędkości fali S. Metodą interpolacji z modeli 1D uzyskano przekrój 2D pola prędkości fali poprzecznej do głębokości ok. 220 m, osiągając strop karbonu górnego.

W II rejonie badań zastosowano układ pomiarowy pod kątem obrazowania 3D pola prędkości fali poprzecznej rozmieszczając 11 czujników w siatce o wymiarach ok. 10 na 10 km. Z zarejestrowanego niskoczęstotliwościowego szumu sejsmicznego odtworzono propagację fali powierzchniowej Love'a pomiędzy wszystkimi kombinacjami czujników. Wykorzystując krzywe dyspersji prędkości grupowej fundamentalnej mody tej fali estymowano model 3D pola prędkości fali poprzecznej do głębokości ok. 500 m osiągając część stropową utworów triasu górnego.

Na podstawie przeprowadzonych badań własnych stwierdzono, że:

- Metoda interferometrii sejsmicznej z użyciem szumu sejsmicznego pozwala zobrazować deformacje w górotworze naruszonym eksploatacją górnictwem. Opracowane modele sejsmiczne można korelować ze strefami deformacji trwałych i procesem osiadania przebiegającym w górotworze. Natomiast strefy wzmocnienia należy korelować ze strefami koncentracji naprężenia, które mogą być źródłem sejsmiczności w górotworze.
- W modelach sejsmicznych, ze wzrostem głębokości od powierzchni terenu prędkość fali S wzrasta w sposób charakterystyczny, przy czym wyraźny wzrost prędkości obserwuje się w utworach skalnych. Prędkość fali S maleje w strefach rozwoju procesu osiadania w górotworze, a zwłaszcza nad bieżącą eksploatacją złoża. Wyraźniejsze strefy osłabienia obserwuje się w utworach skalnych w porównaniu do ośrodka gruntowego. Należy jednak podkreślić, że zmiany te są złożone, gdyż często eksploatacja fragmentu złoża jest prowadzona na obszarze starszej eksploatacji.
- Stwierdzone anomalie w modelu sejsmicznym mogą występować w strefie przecięcia się większych uskoków, co stwierdzono w warunkach górotworu w KGHM ZG Rudna. W tych strefach występuje duża sejsmiczność, co może być związane z mechanizmem stick-slip na granicach dużych bloków skalnych, indukowanym przez roboty górnicze.

Rozwiązanie przedstawionego zagadnienia badawczego może mieć duże znaczenie aplikacyjne w monitorowaniu procesu osiadania oraz występującej sejsmiczności w górotworze, a tym samym w planowaniu eksploatacji.

Assessment of elastic properties and structure of rock mass using seismic interferometry method

ABSTRACT

The main aim of PhD thesis is to present usefulness of seismic interferometry method with use of ambient seismic noise for assessment of rock mass structure and its elastic properties. This aim was achieved by develop a special research methodology contain processing steps from seismology, seismic exploration and near-surface seismic. The methodology algorithm is built from procedures such as: STA/LTA technique for removing strong seismic events, FTAN technique for group velocity dispersion curve identification, beam forming technique, 1-bit normalization and spectral whitening, 2D seismic tomography using SIRT algorithm, component rotation, dispersion curves inversion using neighborhood and gradient algorithms.

Its need to be highlighted that seismic interferometry method with use of ambient seismic noise is a new geophysical method which is constantly being developed.

Presented methodology was tested in two mine areas: „Borynia-Zofiówka-Jastrzębie” Ruch „Jastrzębie” (area I) and KGHM ZG Rudna (area II). In both cases subsidence and induced seismicity were noticed.

In area I acquisition geometry contains 11 stations set up along 500 m long profile line. The line crossed pillar which divides two neighboring mines: “Jastrzębie” and “Moszczenica”. Between all station pairs combinations Rayleigh surface-wave propagation was estimated using seismic interferometry and ambient seismic noise. Next, from identified phase velocity dispersion curves of Rayleigh wave fundamental mode 14 of 1D S-wave velocity models were estimated. Then, using interpolation 2D S-wave velocity field cross-section up to 220 m depth was computed. Velocity model ended at the top of Carboniferous formation.

In area II acquisition geometry contains also 11 stations. Stations were set up in order to 3D imagining of rock mass. The area had 10 x 10 km size. From low-frequency seismic noise registration, Love surface-wave propagation between all station combinations was estimated by seismic interferometry. Based on group velocity dispersion curve of Love wave fundamental mode, 3D S-wave velocity filed up to about 500 m depth was inverted. Velocity model ended at the top of Triassic formation.

On the basis of research results the following observations were made:

- Seismic interferometry method with use of ambient seismic noise allows to image of deformation within rock mass disturbed by exploitation. Velocity models can be correlated with zones contain permanent deformations and subsidence. However zones with velocity increase can be correlated with stress concentration. In these zones seismic events can be occurred.
- Velocity increases typically with depth. The biggest velocity increase is in the bedrock. Velocity decreases in subsidence zones, especially in area with new exploitation. The wakening zones are clearer in bedrock than in the ground. It should be emphasized, that this types of relations are often more complex, as the exploitation is carried out in the vicinity of older exploitation.
- Seismic anomalies in velocity model can be observed in zone where faults intersect each other, which take a place in KGHM ZG Rudna. In that zone strong seismicity occurs. This effect was explained by a stick-slip deformation in contact zone between large blocks in rock mass induced by mining.

Presented results can help with subsidence monitoring, seismic hazard and in consequences with planning of exploitation.