



You have downloaded a document from
RE-BUŚ
repository of the University of Silesia in Katowice

Title: Mechanizmy ogniskowe zjawisk sejsmicznych indukowanych na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

Author: Ryszard Dubiel

Citation style: Dubiel Ryszard. (2010). Mechanizmy ogniskowe zjawisk sejsmicznych indukowanych na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. W: W. M. Zuberek, K. Jochymczyk (red.), "Geneza i charakterystyka zagrożenia sejsmicznego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym" (S. 49-53). Katowice : Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego



Uznanie autorstwa - Użycie niekomercyjne - Bez utworów zależnych Polska - Licencja ta zezwala na rozpowszechnianie, przedstawianie i wykonywanie utworu jedynie w celach niekomercyjnych oraz pod warunkiem zachowania go w oryginalnej postaci (nie tworzenia utworów zależnych).



UNIwersYTET ŚLĄSKI
W KATOWICACH



Biblioteka
Uniwersytetu Śląskiego



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

- smicznego w aspekcie oceny zagrożenia tąpnięciem. Pr. GIG, 872.
- MUTKE G., 2007b: *Ocena zagrożenia tąpnięciami w kopalniach podziemnych uwzględniająca parametry drgań blisko ognisk wstrząsów — doświadczenia z polskich kopalni*. *Górnictwo i Geoinżynieria*. Kwartalnik AGH, 31, z. 3/1, s. 439—450.
- MUTKE G., 2008: *Stability of the underground mine workings in the near-field zone of seismic events*. In: *21st World Mining Congress 2008 — New Challenges and Vision for Mining. Underground Mine Environment. 7—12 September 2008 — Poland — Crocow*. University of Since & Technology [AGH], s. 89—97.
- MUTKE G., DWORAK J., 1992: *Czynniki warunkujące efekt sejsmiczny wstrząsów górniczych na powierzchniowe obiekty budowlane w obszarze GZW. Wybrane zagadnienia geofizycznych badań w kopalniach — Lubiatów 1991*. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.*, M-16 (245), s. 115—130.
- MUTKE G., STEC K., 2007: *Analiza mechanizmu i parametrów źródła wstrząsu z dnia 9.02.2007 r. o energii sejsmicznej $E = 1 \cdot 10^9 J$ — regionalny charakter zjawiska*. Pr. GIG, 3/2007, s. 337—346.
- PASZTA E., UDZIELA B., WIERZCHOWSKA Z., 1950—1970: *Najsilniejsze wstrząsy górotworu na Górnym Śląsku*. Pr. GIG, 1—14 [niepublikowane].
- STEC K., 2007a: *Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego — 30 lat ciągłej obserwacji przez Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną*. *Prz. Górn.* [Katowice], 7—8/2007, s. 14—22.
- STEC K., 2007b: *Characteristics of Seismic Activity of the Upper Silesian Coal Basin in Poland*. *Geophysical Journal International*, Blackwell Publishing Ltd, V 168, s. 757—768.
- WIERZCHOWSKA Z., 1961: *Przyczyny wstrząsów na Górnym Śląsku*. *Komunikat GIG* 268.
- WIERZCHOWSKA Z., 1962: *Nowe poglądy na pochodzenie wstrząsów ziemi na Górnym Śląsku*. *Prz. Górn.*, 7/8, s. 418—422.
- WIERZCHOWSKA Z., 1981: *Regionalna Sieć Mikrosejsmologiczna na Górnym Śląsku*. *Prz. Górn.*, 5, s. 222—228.

*Józef Dubiński, Adam Lurka,
Grzegorz Mutke, Krystyna Stec*

4.2. Mechanizmy ogniskowe zjawisk sejsmicznych indukowanych na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

4.2.1. Wstęp

Badania mechanizmów ogniskowych wstrząsów górniczych z obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego prowadzone były początkowo z zastosowaniem klasycznej metody *fault plane solution*. Spowodowane to było niską jakością analogowych zapisów przebiegów sejsmicznych, które umożliwiały

jedynie określenie kierunku pierwszego wejścia fali podłużnej. Wraz z wprowadzaniem, na początku lat dziewięćdziesiątych XX w., zapisów cyfrowych o większej dynamice możliwe stało się wykorzystanie metody inwersji tensora momentu sejsmicznego do rutynowego określania mechanizmów ogniskowych wstrząsów górniczych. Doprowadziło to do znacznego pogłębienia wiedzy na temat natury wstrząsów indukowanych w GZW, gdyż powiększyło grupę badanych wstrząsów o zjawiska o mechanizmie odbiegającym od modelu ścinającego opisywanego podwójną parą sił.

Ze względów technicznych posługiwanie się metodą inwersji tensora momentu sejsmicznego pociąga jednak za sobą pewne ograniczenia. Pierwszym z nich jest fakt, że kopalniane sieci sejsmologiczne w GZW wyposażone są najczęściej w seismografy jednoskładowe (pionowe), co wyklucza wykorzystanie do obliczeń innych typów fal niż fala podłużna *P*. Drugim ograniczeniem jest niewielka liczba stanowisk, zwykle nieprzekraczająca szesnastu, w poszczególnych sieciach. Ponadto rozkład przestrzenny sieci seismometrów optymalizowany jest do precyzyjnego zlokalizowania zjawisk sejsmicznych w obszarach najbardziej zagrożonych, czyli tych, w których prowadzona jest najintensywniejsza eksploatacja. W rezultacie nie dla wszystkim wstrząsów dysponujemy dobrym pokryciem sfery ogniskowej, a co za tym idzie — nie zawsze jest możliwe precyzyjne i wiarygodne określenie mechanizmu ogniskowego. Dotyczy to szczególnie zjawisk o dużych energiach, które często zlokalizowane są z dala od wyrobisk górniczych i — jak się powszechnie uważa — o dużym udziale składowej tektonicznej w ich indukowaniu. Dodatkowym elementem wpływającym na niepewność uzyskanych rozwiązań jest — inaczej niż w przypadku LGOM — brak opracowanego modelu sejsmologicznego GZW. Dlatego też konieczne jest przyjęcie prostego modelu, zakładającego rozchodzenie się fal sprężystych w izotropowym ośrodku skalnym.

Od początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku powszechnie, a właściwie wyłącznie inwersję tensora momentu sejsmicznego przeprowadza się w domenie czasu, dla pierwszych wejść fali *P* (WIEJACZ, 1991). Obliczenia prowadzi się z użyciem dwóch norm — liniowej *L1* i kwadratowej *L2*. Takie dwa niezależne rozwiązania umożliwiają porównanie i — co z tego wynika — zwiększenie wiarygodności przez wykluczenie rozwiązań „niepewnych” — o różnych wynikach dla obu norm. Dla każdej normy uzyskuje się ponadto trzy rozwiązania: pełne, o śladzie zero (wykluczające *a priori* istnienie składowej izotropowej zmiany objętości) i rozwiązanie ścinające (zakładające wyłącznie możliwość mechanizmu ścinającego).

Największą korzyścią z zastosowania opisanej metody jest możliwość badania zjawisk sejsmicznych, których mechanizm odbiega od modelu opisywanego przez podwójną parę sił. Ma to szczególne znaczenie w badaniach sejsmiczności indukowanej, gdzie powstawanie takich zjawisk jest możliwe i wielokrotnie wskazywane było w literaturze światowej. Tensor momentu sejsmicznego można bowiem rozłożyć na trzy składowe: izotropowej zmiany objętości (I), liniowego dipola skompensowanego (LDS) i podwójnej pary sił (PPS), określając jednocześnie ich procentowy udział.

W przypadku wstrząsów o mechanizmie ścinającym (dominacja składowej PPS) ze składowych tensora oblicza się ponadto: orientację przestrzenną płaszczyzn nodalnych, głównych osi naprężeń (P, T i B) oraz wartość kąta przemieszczenia (*rake*) wskazującą na kierunek i zwrot przemieszczenia na płaszczyźnie zniszczenia, a zatem typ uskoku, na którym miało miejsce przemieszczenie powodujące zjawisko sejsmiczne.

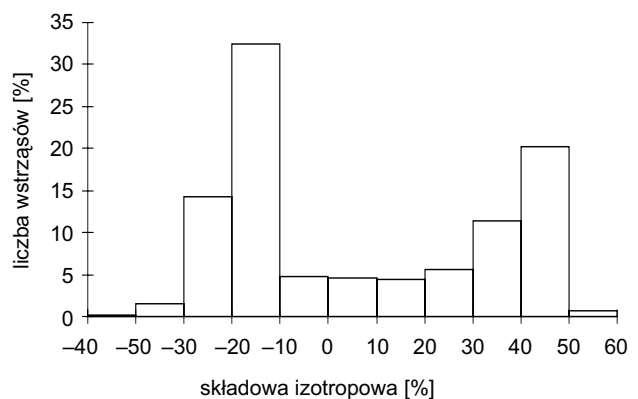
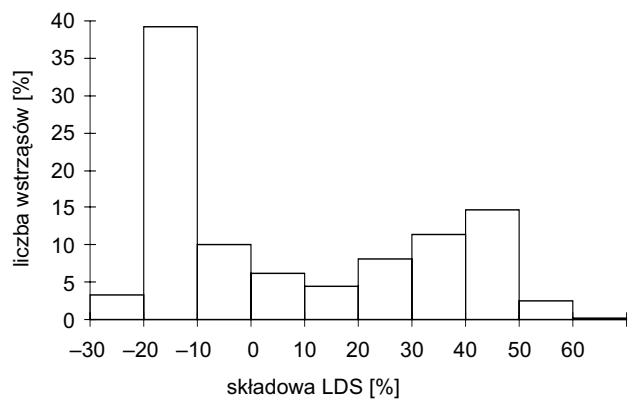
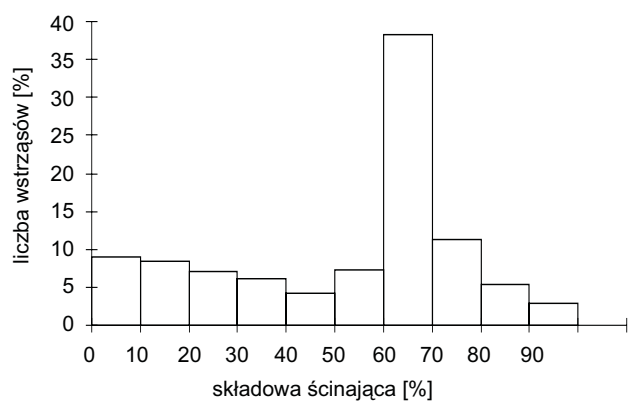
4.2.2. Wyniki badań

Prezentowane wyniki badań mechanizmów ogniskowych wstrząsów górniczych z obszaru GZW obejmują kilka wybranych rejonów Zagłębia. Są to obszary kopalń: „Wujek”, „Staszic”, „Wesoła” i „Halemba”. Dla wszystkich analizowanych wstrząsów przyjęto dolną wartość graniczną energii sejsmicznej $1 \cdot 10^3$ J, co odpowiada magnitudzie lokalnej $ML \approx 0,71$. Dzięki takiemu założeniu można było badać zarówno niskoenergetyczne wstrząsy o genezie typowo eksploatacyjnej, jak i wstrząsy silniejsze, w których powstawaniu należy rozważyć znaczny udział składowej tektonicznej. Jednakże przyjęcie tak niskiego progu energetycznego spowodowało, że znaczną część analizowanych zjawisk należało odrzucić ze względu na niedostateczną jakość rejestracji sejsmicznych. Pewna niewielka grupa wstrząsów została również odrzucona z powodu rozbieżności między rozwiązaniami przeprowadzonymi według normy liniowej a rozwiązaniami przeprowadzonymi zgodnie z normą kwadratową.

Procentowy udział poszczególnych składowych (izotropowej, liniowego dipola skompensowanego i ścinającej) pełnego rozwiązania tensora momentu sejsmicznego był bardzo podobny dla wszystkich badanych obszarów. Rysunek 4.4 prezentuje udział tych składowych na przykładzie badanych wstrząsów z kopalni „Halemba”.

Ponad 65% zjawisk miało dominujący udział składowej ścinającej (ponad 50%). Także w przy-

padku pozostałych analizowanych obszarów udział składowej ścinającej był dominujący dla większości (ponad 60%) zjawisk sejsmicznych. Pozostałe wstrząsy charakteryzowały się mechanizmem typu mieszanego, w którym suma składowych LDS oraz I często znacznie przekraczała 50%. Do wyjątków należą wstrząsy, w przypadku których udział jednej tylko składowej LDS lub I byłby większy od 50% (nie przekroczył on nigdy 60%). Charakterystyczną cechą sejsmiczności w GZW jest fakt, że składowa LDS oraz I mogą być związane z rozciąganiem (eksplozją) — znak +, bądź ściskaniem (implozją) — znak -. We wszystkich obszarach mamy do czynienia z oboma tymi zjawiskami, przy czym

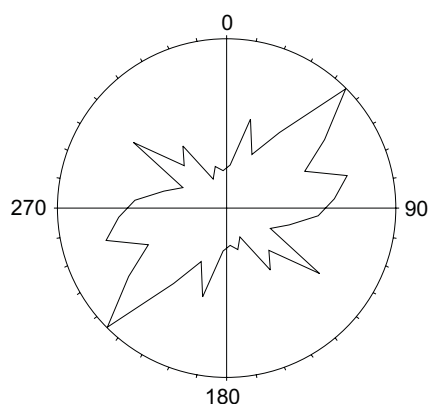


Rys. 4.4. Procentowy udział poszczególnych składowych tensora momentu sejsmicznego na przykładzie wstrząsów z KWK „Halemba”:

+ rozciąganie, - ściskanie

niewiele więcej jest mechanizmów o charakterze tensyjnym. Wstrząsy takie należy uznać za zjawiska o genezie typowo eksploatacyjnej; prawdopodobnie w rzeczywistości przynajmniej część z nich charakteryzuje się mechanizmem ścinającym, a uzyskane rozwiązania są wynikiem pewnych błędów. Zagadnienie to zostanie szczegółowo omówione w rozdziale traktującym o mechanizmach nieścinających.

Spośród wstrząsów o dominującej składowej ścinającej, w zależności od obszaru, od 52% do 60% stanowiły zjawiska o przemieszczeniu na uskoku normalnym, a od 40% do 48% — zjawiska o przemieszczeniu na uskoku odwróconym. We wszystkich analizowanych rejonach zaobserwowano także zjawiska charakteryzujące się przemieszczeniem na uskoku przesuwczym z dwiema zorientowanymi pionowo płaszczyznami nodalnymi. O ile indukowanie wstrząsów, w warunkach podziemnej eksploatacji górniczej, na uskokach normalnych, a nawet odwróconych można logicznie wyjaśnić (HASEGAWA i in., 1989), o tyle zjawiska charakteryzujące się przemieszczeniem przesuwczym mogą być wyłącznie związane z oddziaływaniem poziomych naprężeń tektonicznych. Tak więc występowanie takich wstrząsów w GZW wskazuje na udział czynnika tektonicznego w indukowaniu przynajmniej części zjawisk sejsmicznych.



Rys. 4.5. Orientacje przestrzenne wyznaczonych płaszczyzn nodalnych dla wstrząsów górniczych z KWK „Staszic”

Orientacje przestrzenne obliczonych płaszczyzn nodalnych charakteryzują się bardzo dużym zróżnicowaniem na wszystkich badanych obszarach. Zaznacza się jednak pewna dominacja kierunku NE-SW (rys. 4.5). Ponieważ kierunek ten z różnym natężeniem charakterystyczny jest dla wszystkich badanych rejonów, należy go wiązać z budową geologiczną, w tym konkretnym przypadku zaś — z kierunkiem spękań górotworu karbońskiego. Pozostałe kierunki prawdopodobnie odzwierciedlają geometrię prowadzonych wyrobisk eksploatacyjnych (LINZER, 2005).

4.2.3. Mechanizmy nieścinające

Pewne wątpliwości może budzić stosunkowo duża liczba (dochodząca do 40%) zjawisk sejsmicznych o mechanizmach odbiegających od modelu ścinającego. Występowanie takich wstrząsów w warunkach prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej jest jak najbardziej logiczne i uzasadnione, ale takie rozwiązania mogą być również efektem pewnych błędów. Pierwszą przyczyną może być niedostateczna liczba czujników. Kopalniane sieci sejsmologiczne w GZW składają się maksymalnie z 16 sejsmometrów, a wiele wstrząsów nie jest rejestrowanych na wszystkich stanowiskach. W rezultacie nie wszystkie uzyskane rozwiązania można uznać za w pełni wiarygodne. Drugim, prawdopodobnie ważniejszym, czynnikiem wpływającym na wiarygodność rozwiązania jest mała dokładność lokalizacji ogniska wstrząsów, szczególnie w odniesieniu do składowej pionowej Z. Dokładność jej wyznaczenia ma — z punktu widzenia kopalnianych służb geofizycznych — niewielkie znaczenie, w istotny jednak sposób wpływa na jakość rozwiązania tensora momentu sejsmicznego. W przypadku 10 zjawisk sejsmicznych zarejestrowanych w KWK „Wujek” i charakteryzujących się mechanizmem nieścinającym przeprowadzono wielokrotne przeliczenie mechanizmu, zmieniając początkową — obliczoną rutynowo — wartość koordynaty Z. Dla 9 z 10 zjawisk uzyskano mechanizm z dominującym udziałem składowej ścinającej, przy maksymalnej wprowadzonej zmianie współrzędnej Z do 150 m.

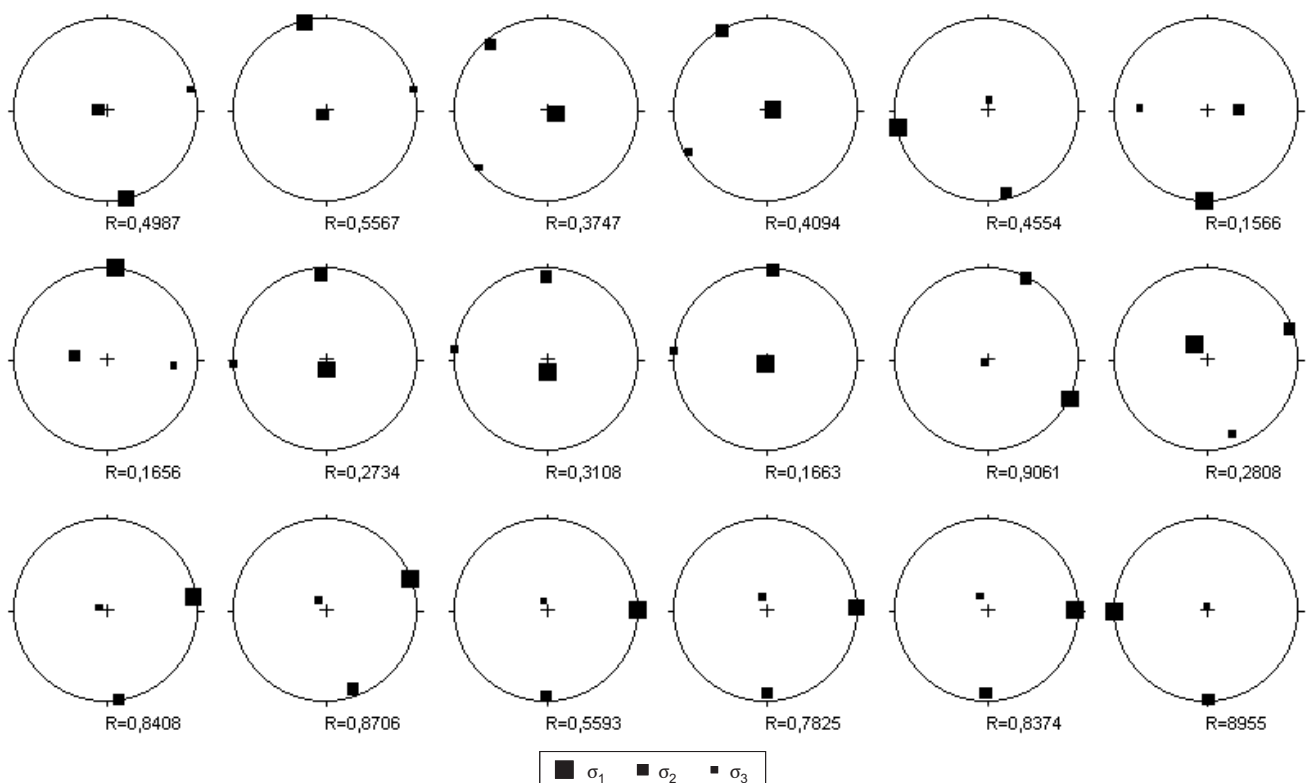
4.2.4. Średnie lokalne tensory naprężeń, obliczone na podstawie mechanizmów ogniskowych indukowanych zjawisk sejsmicznych

Uzyskane metodą inwersji tensora momentu sejsmicznego rozwiązania mechanizmów ogniskowych zjawisk sejsmicznych dostarczają informacji na temat orientacji przestrzennej płaszczyzn zniszczenia oraz kierunku i zwrotu przemieszczenia na tych płaszczyznach. Mogą być zatem wykorzystane do wyznaczenia średnich lokalnych tensorów naprężeń. Należy przyjąć założenie, że zjawiska sejsmiczne zaistniałe w stosunkowo niewielkim odstępie czasowym i w jednorodnym pod względem geologicznym obszarze zostały wywołane podobnymi warunkami naprężeń, które można opisać jednym

lokalnym tensorem naprężeń. Zaprezentowana metoda początkowo znalazła zastosowanie w geologicznych badaniach strukturalnych; korzystano w niej ze zmierzonych orientacji płaszczyzn uskokowych i rys poślizgu (CAREY, BRUNIER, 1974; ANGELIER, 1979). Następnie została zaadaptowana i stosowana do badania pól naprężeń z użyciem danych sejsmologicznych (GEPHARDT, FORSYTH, 1984; HINZEN, 2003). W niniejszym opracowaniu w obliczeniach korzystano z procedury opracowanej przez J. ANGELIERA (1979), minimalizującej metodą najmniejszych kwadratów wielkość składowej naprężenia stycznego do płaszczyzny uskoku, prostopadłej do kierunku poślizgu. Obliczenia przeprowadzono dla 20 kolejno następujących wstrząsów o mechanizmach ścinających z obszaru danej kopalni. Ponieważ rozwiązanie mechanizmu ogniskowego wskazuje dwie potencjalne płaszczyzny zniszczenia, konieczne było arbitralne wskazanie jednej z nich jako płaszczyzny uskokowej i obliczenie dla niej, na podstawie wartości kąta przemieszczenia (*rake*), kierunku oraz zwrotu poślizgu. W wyborze tym posłużono się znanym z mechaniki skał kryterium Coulomba — Mohra. W efekcie uzyskano orientacje przestrzenne trzech głównych osi naprężeń: maksymalnego σ_1 , minimalnego σ_3 , pośredniego σ_2 , oraz wartość współczynnika R , definiującego relacje wielkości między naprężeniami głównymi. Wartości współczynnika R bliskie zera wskazują, że wielkości naprężeń σ_2 i σ_3 są podobne do siebie, a gdy wartość R zbliża się do 1,0,

wielkość naprężenia σ_2 staje się bliska naprężeniu σ_1 .

Charakterystyczną cechą stwierdzonego na wszystkich badanych obszarach stanu naprężeń wywołującego sejsmiczność indukowaną jest jego bardzo duża zmienność (rys. 4.6). Zaobserwowano dwa dominujące stany naprężeń: z pionową orientacją osi σ_1 przy poziomej orientacji σ_2 i σ_3 oraz z pionową orientacją osi σ_3 przy poziomej orientacji σ_1 i σ_2 . Pierwszy z nich odpowiada litostatycznemu reżimowi naprężeń; w jego wyniku powstają uskoki normalne. Drugi zaś nazwać można tektonicznym reżimem naprężeń — powodującym powstawanie uskoków rewersyjnych. Przejścia między dwoma dominującymi stanami naprężeń są dynamiczne i skokowe. Prawie nie obserwuje się stanów pośrednich. Również wartości współczynnika R bardzo się wahają. Obliczone średnie lokalne tensory naprężeń wskazują, że górotwór, w którym prowadzona jest eksploatacja górnicza, charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością stanu naprężeń. Jest to spowodowane wzajemnym oddziaływaniem naprężeń tektonicznych, litostatycznych i górniczych. Ponieważ dwa ostatnie wymienione czynniki zmieniają się zawsze bardzo wolno, za zmienność stanu naprężeń bez wątpienia odpowiedzialne są różnorodne czynniki górnicze, np. pęknięcie stropu, filarów, zawał skał stropowych. Nakładają się one na działające stale naprężenia litostatyczne i tektoniczne, generując wstrząsy sejsmiczne o różnorodnych mechanizmach.



Rys. 4.6. Przykład rozwiązań średnich lokalnych tensorów naprężeń dla grup 20 kolejno następujących wstrząsów z KWK „Wesoła”

Wydaje się, że prowadzenie eksploatacji górniczej wprowadza górotwór w stan równowagi chwiejnej, przejawiający się nagłymi i radykalnymi, czasem wręcz chaotycznymi, zmianami warunków naprężeń. Zmiany te sprawiają wrażenie nieuporządkowanych i nieprzewidywalnych. Stan taki nosi cechy układu o dynamice nieliniowej, charakterystycznego dla wielu zjawisk i procesów fizycznych.

Dodatkowym, bardzo interesującym faktem jest zaobserwowanie we wszystkich badanych rejonach sporadycznego pojawiania się stanu naprężeń z pionową lub prawie pionową orientacją osi σ_2 , przy poziomej orientacji σ_1 i σ_3 (rys. 4.6, rozwiązanie 1, 2, 6 i 7). Jest to stan opisujący zwykle aktywne sejsmicznie strefy uskokowe, na których zachodzą przemieszczenia o charakterze przesuwczym. Obecność takiego reżimu naprężeń w skałach GZW może wyraźnie wskazywać na dość znaczny udział współczesnych naprężeń tektonicznych w indukowaniu wstrząsów górniczych. Argument ten dodatkowo wzmacnia obserwacja, z której wynika, że w przypadku opisanego stanu naprężeń oś naprężenia maksymalnego σ_1 była zawsze zorientowana południkowo, zgodnie z prawdopodobnym naciskiem tektonicznym od strony orogenu karpaccyjskiego.

Literatura

- ANGELIER J., 1979: *Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population*. Tectonophysics, 56, s. 17—26.
- CAREY E., BRUNIER B., 1974: *Analyse théorique et numérique d'un modèle mécanique élémentaire à l'étude d'une population de failles*. C.R. Acad. Sci., Paris, Sér. D, 279, s. 891—894.
- GEPHARDT J.W., FORSYTH D.W., 1984: *An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: Application to the San Fernando earthquake sequence*. J. Geophys. Res., 89, B11, s. 9305—9320.
- HASEGAWA H.S., WETMILLER R.J., GENDZWILL D.J., 1989: *Induced seismicity in mines in Canada — an overview*. Seismicity in Mines, Pure Appl. Geophys., 129, s. 423—453.
- HINZEN K.G., 2003: *Stress field in the Northern Rhine area, Central Europe, from Earthquake fault plane solutions*. Tectonophysics, 377, s. 325—356.
- LINZER L.M., 2005: *A relative moment tensor inversion technique applied to seismicity induced by mining*. Rock Mech. Rock Engng., 38 (2), s. 81—104.
- WIEJACZ P., 1991: *Badania mechanizmów wstrząsów górniczych metodą inwersji tensora momentu sejsmicznego*. Warszawa, Biblioteka Instytutu Geofizyki PAN [Rozprawa doktorska].

4.3. Badanie rozkładu epicentrow silnych wstrząsów w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym

Analizę rozkładu epicentrow silnych wstrząsów na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego przeprowadzono na podstawie katalogu wstrząsów o energii nie mniejszej od 100 kJ (tzn. o magnitudzie lokalnej $ML > 1,75$), zarejestrowanych przez Regionalną Sieć Sejsmologiczną Głównego Instytutu Górnictwa w okresie od 1.01.1987 r. do 31.12.2006 r. Na rys. 4.7 przedstawiono mapę lokalizacji wstrząsów wykreśloną w układzie współrzędnych topograficznych „Sucha Góra”.

Chociaż eksploatacja prowadzona jest na całym obszarze GZW, epicentra silnych wstrząsów grupują się w wydzielonych skupiskach. Skupiska te leżą w następujących subjednostkach strukturalnych GZW:

- synklina Bytomia (niecka bytomska),
- synklina Kazimierza (niecka kazimierzowska),
- antyklina główna (siodło główne),
- siodło główne — rejon Jaworzna,
- synklina główna (niecka główna),
- strefa fałdowa (Rybnicki Okręg Węglowy).

Skupiska silnych wstrząsów oddzielone są od siebie obszarami asejsmicznymi, w których nie rejestruje się wstrząsów o takim zakresie energii, chociaż mogą tam występować niskoenergetyczne wstrząsy typowo eksploatacyjne, niewywołujące niszczących skutków ani w wyrobiskach górniczych, ani na powierzchni. Rozkład epicentrow silnych wstrząsów występujących w GZW nie zależy od skali, w której rozpatruje się ich lokalizację. A.F. IDZIAK i in. (1999) wykazali fraktalność tego rozkładu. Jest on samopodobny w sensie statystycznym i tworzy losowy zbiór fraktalny typu „dywan Sierpińskiego”, tzn. epicentra grupują się w większych skupiskach, w których z kolei można wyróżnić mniejsze skupiska i tak dalej aż do obszarów porównywalnych z rozmiarami ognisk wstrząsów (tj. poniżej 100 m)

Najsilniejsze wstrząsy o energii powyżej 100 MJ ($ML > 3,3$) zaobserwowano w większości w siodle głównym (13 wstrząsów) i niecce bytomskiej (6 wstrząsów). Dwa takie wstrząsy wystąpiły w okresie obserwacji odpowiednio w niecce głównej i Rybnickim Okręgu Węglowym, a jeden w rejonie Jaworzna. Z tej grupy wstrząsów trzy przekroczyły energię 1 GJ, osiągając magnitudę lokalną ok. 4,0, porównywalną ze słabymi trzęsieniami ziemi. Ich czas wystąpienia, energię, magnitudę oraz lokalizację prezentuje tabela 4.1.