



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

**Title:** Badanie rozkładu epicentrow silnych wstrząsów w Górnosląskim Zagłębiu Węglowym

**Author:** Adam F. Idziak

**Citation style:** Idziak Adam F. (2010). Badanie rozkładu epicentrow silnych wstrząsów w Górnosląskim Zagłębiu Węglowym. W: W. M. Zuberek, K. Jochymczyk (red.), "Geneza i charakterystyka zagrożenia sejsmicznego w Górnosląskim Zagłębiu Węglowym" (S. 53-59). 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

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  $\sigma_2$ , przy poziomej orientacji  $\sigma_1$  i  $\sigma_3$  (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  $\sigma_1$  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

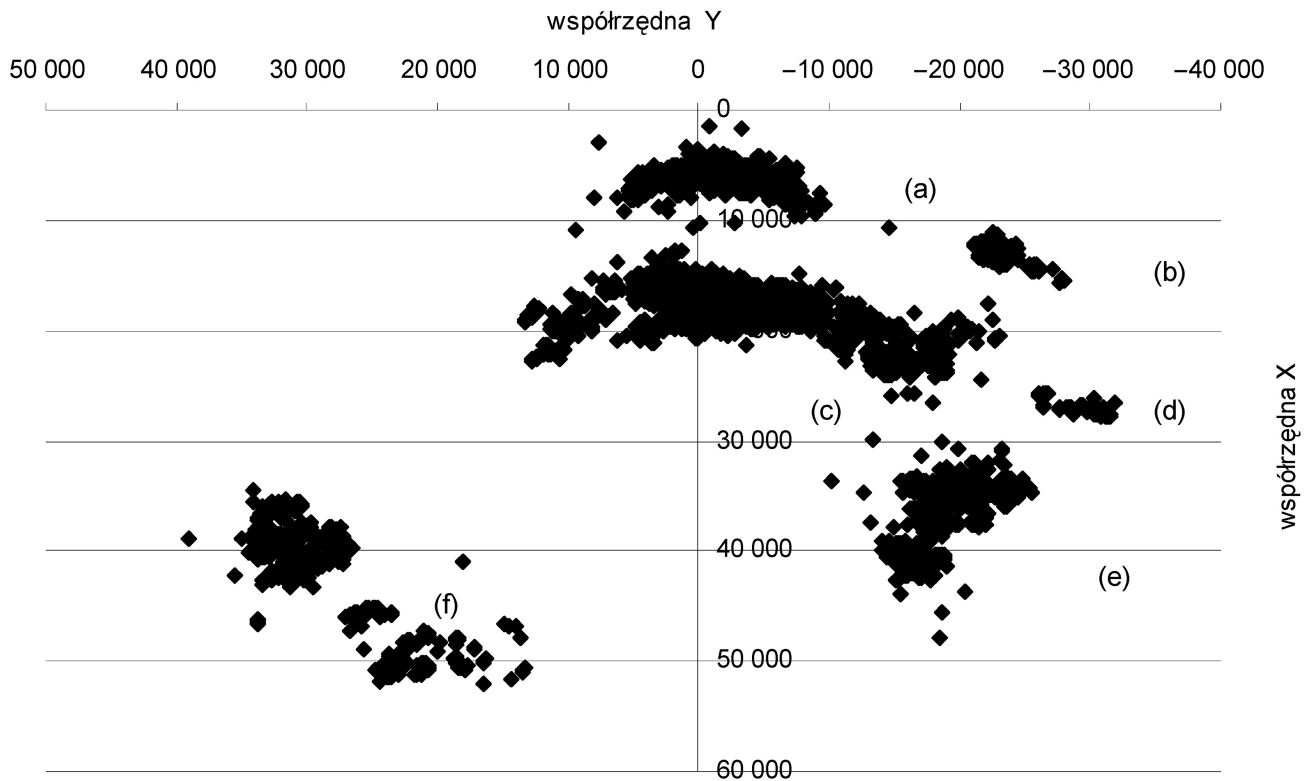
Analizę rozkładu epicentrow silnych wstrząsów na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego przeprowadzono na podstawie katalogu wstrząsów o energii nie mniejszej od 100 kJ (tzn. o magnitudzie lokalnej  $ML > 1,75$ ), zarejestrowanych przez Regionalną Sieć Sejsmologiczną Głównego Instytutu Górnictwa 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.



Rys. 4.7. Mapa lokalizacji epicentrów zjawisk sejsmicznych w GZW o energii od 100 kJ wykreślona w układzie współrzędnych „Sucha Góra” (20 234 wstrząsy z lat 1987—2006):

a — niecka bytomska, b — niecka kazimierzowska, c — siedło główne, d — rejon Jaworzna, e — niecka główna, f — ROW

Tabela 4.1. Najsilniejsze zjawiska sejsmiczne (o energii  $ES \geq 1$  GJ), które wystąpiły w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym w latach 1987—2006

Lp.	Data	Godzina	Minuta	Energia	Magnituda	Współrzędna Y	Współrzędna X	Kopalnia
221	5.05.1992	10	00	2 GJ	4,0	-14 000	39 000	KWK „Czczott”
2	1.04.1993	11	58	1 GJ	3,9	1 940	6 050	KWK „Miechowice”
3	9.12.1993	11	56	1 GJ	3,9	-1 890	17 600	KWK „Halemba”

#### 4.3.1. Analiza zmian średniej aktywności sejsmicznej w GZW

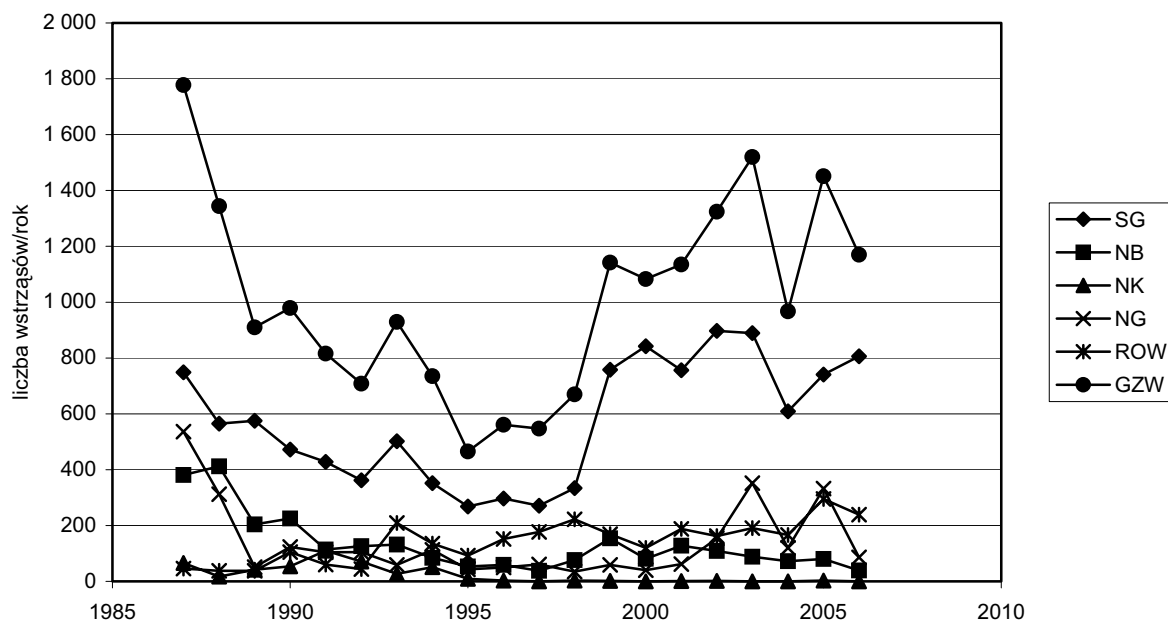
Miarą aktywności sejsmicznej jest liczba wstrząsów o energii większej od ustalonej energii progowej zarejestrowana w jednostce czasu (GIBOWICZ, KILKO, 1994). W latach 1987—2006 średnia roczna aktywność sejsmiczna liczona dla silnych wstrząsów ulegała zmianom zarówno w aspekcie przestrzennym, jak i czasowym. Na rys. 4.8 przedstawiono wykres rocznej aktywności w poszczególnych latach zarówno dla całego GZW, jak i poszczególnych subjednostek strukturalnych.

W rozpatrywanym okresie można zauważyć wyraźną tendencję zmniejszania się rocznej liczby wstrząsów w latach 1987—1995. W 1987 r. zarejestrowano prawie 1 900 wstrząsów. W początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku była

ona już o połowę mniejsza, by w połowie tej dekady spaść do poniżej 500 wstrząsów/r. Ponowny wzrost aktywności sejsmicznej nastąpił po 1997 r.; mimo wahań, w kolejnych latach utrzymywała się ona na poziomie 1 000—1 500 wstrząsów/r.

Zmiany aktywności sejsmicznej nie były jednakowe na całym obszarze GZW (rys. 4.8). W siedle głównym w latach 1987—1995 roczna liczba wstrząsów zmalała prawie trzykrotnie (z 750 wstrząsów/r. do 270 wstrząsów/r.), by ponownie osiągnąć ten sam poziom w 1999 r. W kolejnych latach utrzymywała się w granicach od 760 wstrząsów/r. do 900 wstrząsów/r., z niewielkim spadkiem w 2004 r.

W niecce bytomskiej liczba wstrząsów w 1987 r. była prawie dwukrotnie niższa niż w siedle głównym. W 1995 r. zmalała do 38 wstrząsów/r., by ponownie wzrosnąć do poziomu 150 wstrząsów w 1999 r. W następnych latach roczna liczba



Rys. 4.8. Zmiany aktywności sejsmicznej na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i jego subjednostek strukturalnych w latach 1987—2006:

SG — siodło główne z Jaworzniem, NB — niecka bytomska, NK — niecka kazimierzowska, NG — niecka główna, ROW — strefa fałdowa, GZW — cała polska część Zagłębia Górnośląskiego

wstrząsów malała, by w 2006 r. spaść do poziomu z 1995 r.

W niecce głównej, gdzie do 1987 r. nie zarejestrowano wstrząsów o energii większej niż 1 MJ, wystąpienie silnych wstrząsów poprzedzone było wyraźnym spadkiem aktywności w niecce bytomskiej i niecce kazimierzowskiej. Pierwszy silniejszy wstrząs w niecce głównej zarejestrowano na początku stycznia 1987 r. W tym roku średnia aktywność sejsmiczna osiągnęła poziom 540 wstrząsów/r. Po dwóch latach spadła do 50 wstrząsów/r., a następnie wzrosła do ponad 100 wstrząsów rocznie. Ponowny spadek aktywności do ok. 50 wstrząsów/r. stwierdzono w latach 1995—2001. W 2002 r. nastąpił znaczący wzrost liczby wstrząsów; w latach 2003—2005 utrzymywała się ona na poziomie do 350 wstrząsów/r.

Aktywność sejsmiczna obszaru niecki kazimierzowskiej, po wyraźnym spadku w połowie lat osiemdziesiątych minionego wieku, utrzymywała się na stosunkowo niskim poziomie kilkudziesięciu wstrząsów rocznie. Jedynie w 1991 r. wzrosła powyżej 100 wstrząsów. Po 1995 r. obszar ten przestał praktycznie być aktywny sejsmicznie, a silniejsze wstrząsy pojawiały się tylko sporadycznie.

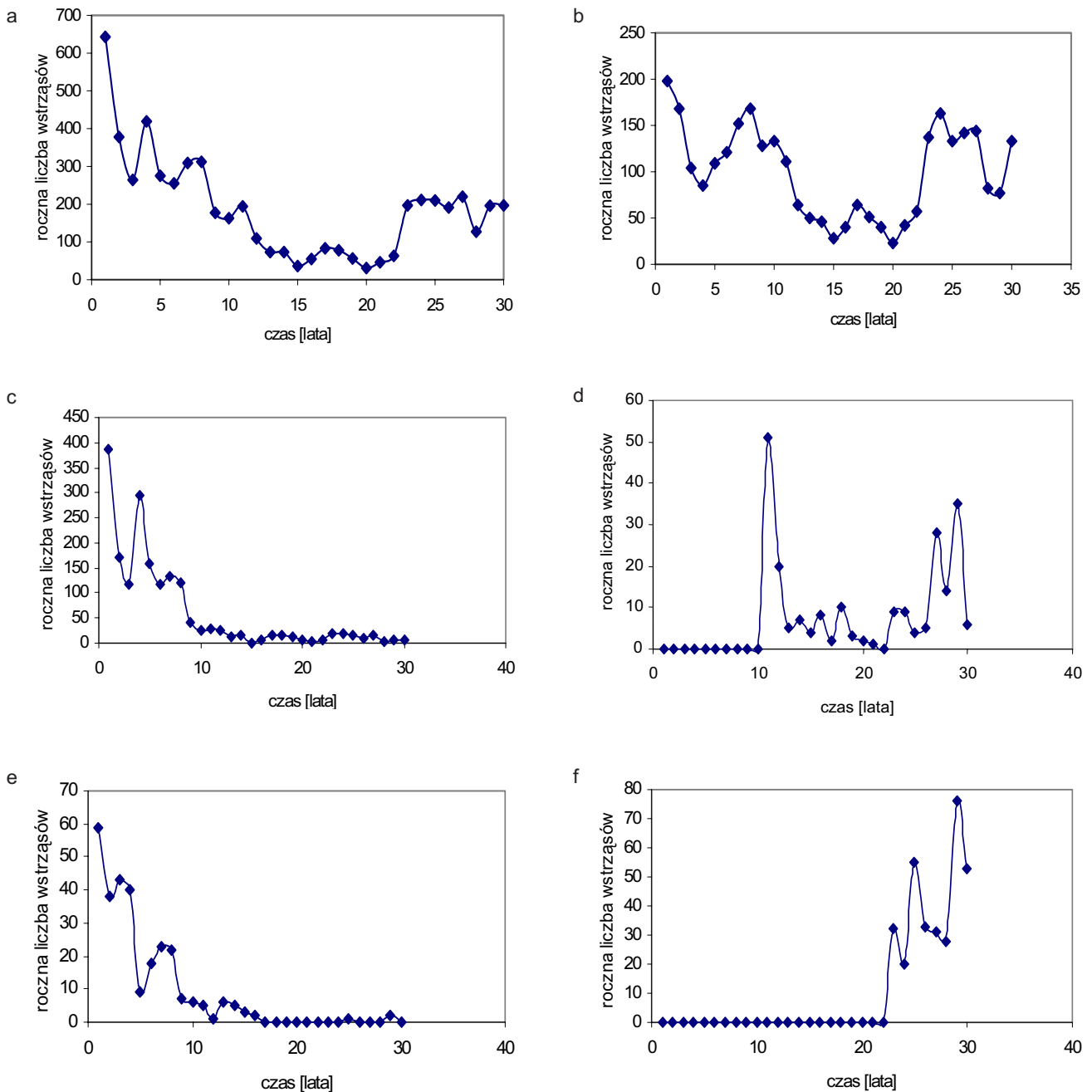
W Rybnickim Okręgu Węglowym aktywność na początku okresu obserwacji była niska (kilkadziesiąt wstrząsów w roku) i ograniczona do wstrząsów o energii mniejszej od 1 MJ. Wzrastała znacząco od 1993 r. i w kolejnych latach wynosiła od stu kilkudziesięciu do ponad dwustu wstrząsów rocznie, dochodząc w 2005 r. do prawie trzystu wstrząsów. Wzrosła także energia wstrząsów. W ostatnich la-

tach pojawiły się zjawiska sejsmiczne o energii ponad 10 MJ. Dane dotyczące aktywności sejsmicznej różnych rejonów GZW zebrano w tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Roczne liczby silnych zjawisk sejsmicznych (o energii  $ES \geq 100$  kJ) w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym w latach 1987—2006

Lata	SG	NB	NK	NG	ROW	GZW
1987	749	381	66	536	46	1 778
1988	565	412	17	312	38	1 344
1989	575	204	42	51	38	910
1990	472	225	54	123	105	979
1991	428	114	110	104	60	816
1992	362	126	71	105	44	708
1993	502	132	27	59	209	929
1994	352	84	51	113	135	735
1995	268	53	9	43	92	465
1996	297	59	3	50	152	561
1997	271	38	0	61	177	547
1998	334	76	3	35	222	670
1999	758	154	2	59	169	1 142
2000	842	81	0	40	120	1 083
2001	756	128	1	62	188	1 135
2002	897	109	2	154	162	1 324
2003	889	88	0	352	191	1 520
2004	609	72	0	120	166	967
2005	741	80	3	332	295	1 451
2006	806	39	0	86	239	1 170

Objaśnienia: SG — siodło główne, NB — niecka bytomska, NK — niecka kazimierzowska, NG — niecka główna, ROW — Rybnicki Okręg Węglowy, GZW — cała polska część zagłębia.



Rys. 4.9. Zmiany rocznej liczby wstrząsów o energii  $E \geq 1$  MJ w latach 1977—2006:

a — całe GZW, b — siodło główne, c — niecka bytomska, d — niecka główna, e — niecka kazimierzowska, f — Rybnicki Okręg Węglowy

Opisane tendencje zmian aktywności sejsmicznej GZW jeszcze wyraźniej zaznaczają się w przypadku wstrząsów o energii większej lub równej 1 MJ. Analizowany katalog wstrząsów obejmował lata 1977—2006. Zmiany rocznej liczby wstrząsów zarówno dla całego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, jak i poszczególnych jego rejonów przedstawiono na rys. 4.9. Aktywność całego obszaru GZW w 1977 r. była trzykrotnie wyższa niż obecnie, jej spadek spowodowany był głównie radykalnym obniżaniem się sejsmiczności obszaru niecki bytomskiej. Na obszarze siodła głównego obecna roczna liczba silniejszych wstrząsów jest podobna jak w latach 1979—1984. Od 1988 r. w GZW

nastąpił okres względnej ciszy sejsmicznej i związany z nią znaczny spadek liczby wysokoenergetycznych wstrząsów. Ponowny wzrost aktywności na obszarze siodła głównego i niecki głównej nastąpił w 1999 r. W tym samym czasie wstrząsy o energii 1 MJ i większej pojawiły się także w Rybnickim Okręgu Węglowym, gdzie wcześniej tak silne wstrząsy nie były rejestrowane. Niewielki wzrost liczby wysokoenergetycznych zjawisk sejsmicznych wystąpił na obszarze niecki bytomskiej, podczas gdy na obszarze niecki kazimierzowskiej po 1995 r. pojawiło się tylko kilka takich wstrząsów. Zmiany czasowe i przestrzenne aktywności wstrząsów o energii powyżej 1 MJ

przypominają cykle sejsmiczne i migrację wstrząsów obserwowane dla trzęsień ziemi w strefach aktywnych tektonicznie. Trudno określić, jaki udział w tych zmianach mają zmieniające się warunki i wielkości eksploatacji górniczej w kopalniach węgla kamiennego. Wydaje się jednak prawdopodobne, że są one spowodowane pewnym narastaniem i równoczesnym systematycznym rozładowywaniem naprężeń tektonicznych w górotworze znacząco naruszonym robotami górniczymi.

#### 4.3.2. Badanie tempa wyzwala- nia energii sejsmicznej na tle aktywności sejsmicznej

Na podstawie katalogu wstrząsów o energii od 100 kJ z lat 1987—2006 określono tempo wyzwala-  
nia energii sejsmicznej w poszczególnych rejonach GZW. Na rys. 4.14 przedstawiono energię sejsmiczną wyzwoloną w okresie od 1.01.1987 r. do 31.12.2006 r. Na tym samym rysunku zaprezentowano przyrost liczby zarejestrowanych wstrząsów w czasie. Z nachylenia krzywych na wykresach można określić tempo wyzwala-  
nia energii sejsmicznej oraz krótkookresową aktywność sejsmiczną.

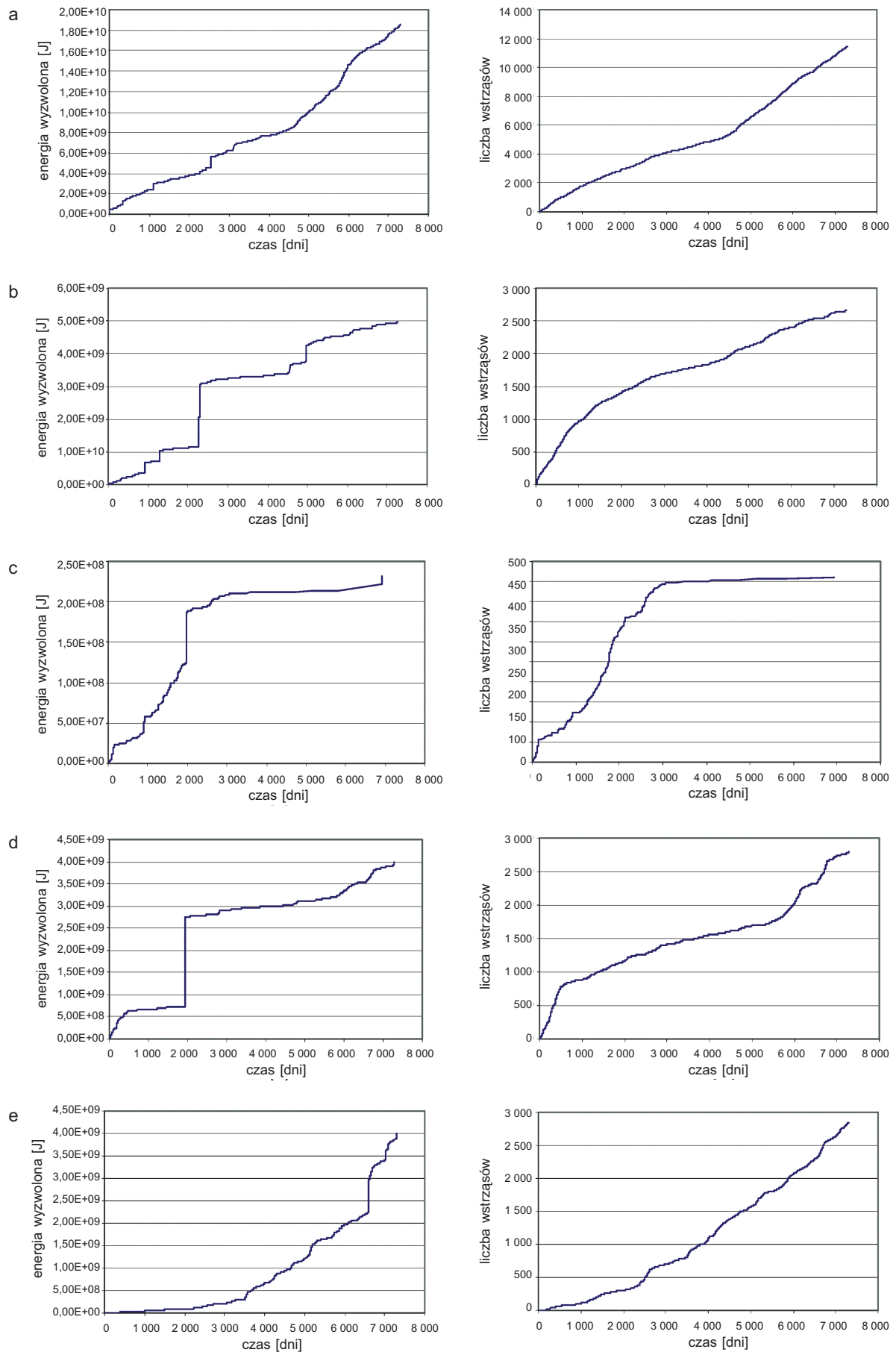
Na obszarze siodła głównego wyodrębnić można dwa okresy różniące się aktywnością i tempem wyzwala-  
nia energii sejsmicznej — do końca 1998 r. (ok. 4 400 dni okresu obserwacji) i od 1999 r. Cechą charakterystyczną tego obszaru jest w miarę równomierne uwalnianie energii we wstrząsach o podobnej magnitudzie w tempie ok. 1,8 MJ/d w pierwszym okresie i dwukrotnie wyższym w okresie drugim. Aktywność sejsmiczna wynosiła odpowiednio 1,2 wstrząsów/dzień i 2,2 wstrząsów/dzień. Średnia energia uwalniana w jednym wstrząsie była niemal stała w całym rozpatrywanym okresie i wynosiła 2 MJ.

Zupełnie inaczej przejawiało się uwalnianie energii sejsmicznej w niecce bytomskiej. Większa część energii wyzwolona została w stosunkowo małej liczbie najsilniejszych wstrząsów. Pomiedzy tymi wstrząsami tempo uwalniania energii było raczej niewielkie, wynosiło 0,4 MJ/d w latach 1987—1988, następnie zaś ok. 0,15 MJ/d do połowy 1999 r., by wzrosnąć do 0,3 MJ/d w okresie końcowym. Aktywność sejsmiczna niecki bytomskiej malała systematycznie od 0,8 wstrząsów/dzień w okresie początkowym do 0,2 wstrząsów/dzień w latach ostatnich. Średnia energia uwalniana w słabszych wstrząsach wynosiła ok. 0,4 MJ/wstrząs.

W niecce kazimierzowskiej aktywność sejsmiczna, która w pierwszej połowie 1987 r. wynosiła 0,4 wstrząsów/dzień, szybko zmalała do 0,05 wstrząsów/dzień. W kolejnym okresie aktywność ta rosła, osiągając na przełomie lat 1991/1992 poziom 0,25 wstrząsów/dzień, a następnie systematycznie malała, by po 1994 r. spaść praktycznie do zera. W podobny sposób zmieniało się tempo uwalniania energii sejsmicznej. Początkowo wynosiło ono 0,15 MJ/d, zmalało do 0,03 MJ/d, by w okresie największej aktywności wzrosnąć do 0,075 MJ/d. Duża część energii uwolniona została w kilku silniejszych wstrząsach. Średnia uwalniana energia wynosiła 0,5 MJ/wstrząs.

W niecce głównej wyróżnić można trzy okresy. Pierwszy obejmuje 1987 r. i połowę 1988 r. W tym czasie aktywność wynosiła 1,4 wstrząsów/dzień, a energia uwalniana była w tempie 1,2 MJ/d. Okres drugi, w którym aktywność wynosiła ok. 0,2 wstrząsów/dzień, trwał do połowy 2001 r. Przeciętne tempo uwalniania energii wynosiło w tym czasie ok. 0,1 MJ/d. Od połowy 2001 r. aktywność wzrosła do 0,6 wstrząsów/dzień przy tempie uwalniania energii sejsmicznej wynoszącym 0,5 MJ/d. Prawie 50% energii wyzwolonej w niecce głównej uwolnione zostało w jednym bardzo silnym wstrząsie, który miał miejsce 5.05.1992 r. Średnia energia słabszych wstrząsów zmieniała się od 2 MJ/wstrząs w okresie początkowym przez 0,4 MJ/wstrząs do 0,5 MJ/wstrząs w okresie końcowym.

Również w ROW wyznaczyć można trzy okresy różniące się tempem wyzwala-  
nia energii sejsmicznej. Do połowy 1996 r. energia wyzwalana była w tempie 0,1 MJ/d, a potem wzrosło ono do 0,6 MJ/d. Od początku 2005 r. podskoczyło do 1,5 MJ/d. Okresy zróżnicowanego tempa uwalniania energii nie pokrywają się ze zmianami aktywności. Zmieniała się ona od 0,2 wstrząsów/dzień w okresie od początku obserwacji do sierpnia 1993 r., by w ciągu kolejnego roku wzrosnąć do 0,85 wstrząsów/dzień. Od połowy 1994 r. do połowy 1996 r. aktywność wynosiła ok. 0,3 wstrząsów/dzień, potem zaś wzrosła i do końca 2006 r. liczyła 0,5 wstrząsów/dzień. Stopniowo wzrastała także średnia energia wstrząsów — od 0,35 MJ/wstrząs w okresie początkowym do 2 MJ/wstrząs w okresie końcowym. Prawie 20% całej energii uwolnione zostało w jednym wstrząsie w styczniu 2005 r.



Rys. 4.10. Tempo wyzwala energii sejsmicznej oraz skumulowana liczba wstrząsów w latach 1987—2006 wyznaczone dla poszczególnych obszarów sejsmicznych GZW:

**a** — siodło główne, **b** — niecka bytomska, **c** — niecka główna, **d** — niecka kazimierzowska, **e** — Rybnicki Okręg Węglowy

## Literatura

- GIBOWICZ S.J., KLIJKO A., 1994: *An introduction to mining seismology*. Int. Geoph. Series [San Diego—New York, Academic Press], 55, 399 s.
- IDZIAK A.F., TEPER L., ZUBEREK W.M., 1999: *Sejsmiczność a tektonika Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Katowice, Uniwersytet Śląski, 98 s.

Adam F. Idziak

### 4.4. Testowanie złożoności rozkładu wielkości źródeł sejsmicznych na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

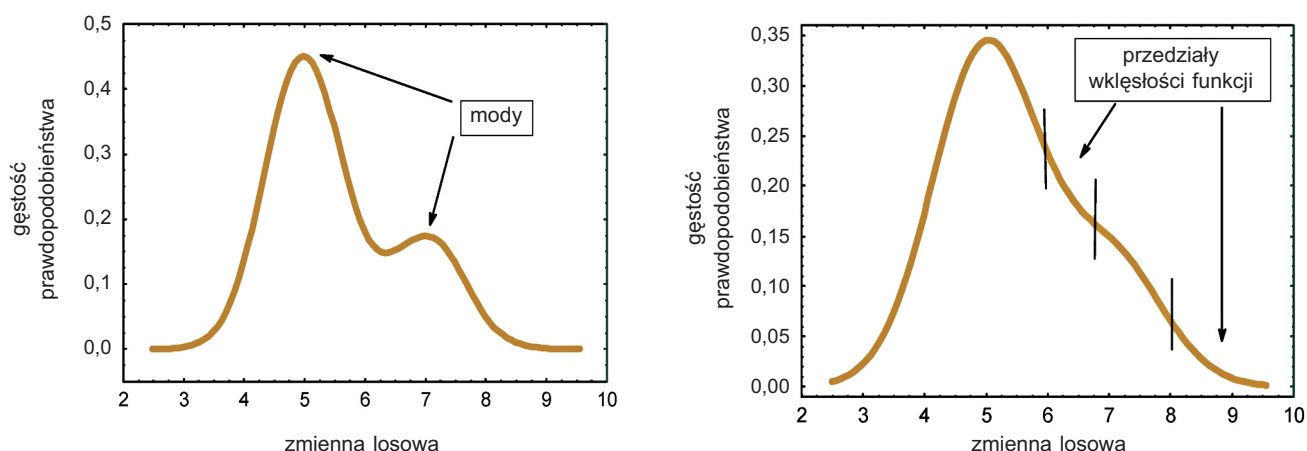
Kształt rozkładu wielkości źródła jest jednym z kluczowych zagadnień opisu procesu sejsmicznego zarówno w sejsmiczności naturalnej, jak i indukowanej pracami górniczymi. Z jednej strony kształt funkcji gęstości, który w uproszczeniu przedstawia proporcje poszczególnych zakresów wielkości zjawisk w całej populacji wstrząsów, określa zagrożenie sejsmiczne w danym rejonie sejsmogenicznym. Z drugiej strony niektóre właściwości funkcji gęstości mówią o jednorodności lub braku jednorodności procesu. Właściwościami tymi są liczba mod i obecność wypukłości funkcji gęstości. Jeśli funkcja gęstości prawdopodobieństwa jest wielomodalna, to populacja wstrząsów jest niejednorodna i najprawdopodobniej stanowi wynik więcej niż jednego procesu sejsmicznego. Ten sam wniosek nasuwa się, jeśli funkcja gęstości jest wprawdzie jednomodalna, ale ma wypukłość, którą można rozumieć jako nie w pełni wykształconą drugą modę. Przykłady funkcji gęstości dwumodalnej i jednomo-

dalnej z wypukłością prezentuje rys. 4.11. Jak z niego wynika, dla rozkładów jednomodalnych wypukłość jest równoważna trzem punktom przegięcia i dwóm lokalnym wklęsłościom po tej samej stronie mody. W przypadku rozkładów bezmodalnych występowanie jednej wypukłości określają dwa punkty przegięcia w całym zakresie zmiennej losowej. Zatem zarówno w przypadku jedno-, jak i bezmodalnej funkcji gęstości obecność wypukłości to obecność więcej niż jednego punktu przegięcia.

Kształt funkcji gęstości prawdopodobieństwa wielkości wstrząsów ma jeszcze jeden bardzo ważny aspekt interpretacyjny. Podstawą większości modeli rozkładu jest opracowana pod koniec pierwszej połowy XX w. empiryczna relacja Gutenberga — Richtera dla magnitudy trzęsień ziemi. Relacja ta implikuje wykładniczy rozkład magnitudy, wykładniczy rozkład logarytmu energii sejsmicznej i potęgowej rozkład energii sejsmicznej wstrząsów. Rozkład potęgowej jest charakterystyczny dla wielkości fraktalnych, a jeśli energia jest fraktalem, to proces sejsmiczny jest deterministycznie chaotyczny i jako taki praktycznie nieprzewidywalny. Jeśli więc można wykazać, że magnituda lub logarytm energii sejsmicznej mają rozkład zupełnie inny niż wykładniczy, to teza o nieprzewidywalności procesu sejsmicznego utraci jeden ze swych podstawowych argumentów.

Wspomniana większość stosowanych w seismologii modeli rozkładu logarytmu energii, magnitudy i wielkości komplementarnych (np. momentu sejsmicznego) to rozkłady bezmodalne lub jednomodalne i bez wypukłości (np. UTSU, 1999 i podane tam referencje). Z wymienionych powodów badanie hipotez zerowych:

- $H_0^1$ : funkcja gęstości prawdopodobieństwa  $\log E$  jest jednomodalna;
- $H_0^2$ : funkcja gęstości prawdopodobieństwa  $\log E$  ma jeden przedział wklęsłości po prawej stronie mody,



Rys. 4.11. Dwumodalna gęstość prawdopodobieństwa oraz gęstość jednomodalna z wypukłością