

JOANNA KURZEJA*

Weryfikacja wybranych estymatorów maksymalnych przyspieszeń a_{\max} drgań na powierzchni terenów górniczych na Górnym Śląsku

Wprowadzenie

Niepożądanym efektem eksploatacji górniczej jest występowanie wstrząsów górniczych, które często destrukcyjnie oddziałują na obiekty powierzchniowe. Jeśli wartości parametrów drgań gruntu wywołanych wstrząsami przekroczą pewien poziom są one odczuwane mniej lub bardziej intensywnie przez ludzi oraz mogą powodować określone uszkodzenia w obiektach budowlanych. Do czynników mających wpływ na intensywność drgań należą między innymi (Gibowicz 1985):

- wielkość zdarzenia sejsmicznego mierzona np. energią sejsmiczną,
- głębokość ogniska i odległość epicentralna miejsca obserwacji oraz właściwości tłumiące ośrodka.

Określenie wielkości drgań gruntu można dokonać w dwojaki sposób:

- pomiarowy (punktowy) – gdy dysponujemy odczytami z rejestracji drgań z wykorzystaniem odpowiedniej aparatury pomiarowej w miejscu jej zainstalowania,
- analityczny – na podstawie empirycznych zależności między parametrami wstrząsów a parametrami drgań gruntu.

Poza określaniem wielkości drgań po zaistniałych wstrząsach (np. w przypadkach ubiegania się inwestorów o rekompensatę za wyrządzone działalnością górniczą uszkodzenia budowli) ważnym zagadnieniem związanym z projektowaniem eksploatacji i ewentualnymi jej konsekwencjami na powierzchni jest przewidywanie wartości parametrów drgań gruntu, takich jak prędkość czy przyspieszenie.

* Dr inż., Główny Instytut Górnictwa, Katowice; e-mail: j.kurzeja@gig.katowice.pl

Prognoza taka odbywa się dwuetapowo. Pierwszy etap polega na wyznaczeniu stref występowania potencjalnych wstrząsów oraz oszacowaniu ich maksymalnych energii. Drugi etap jest taki sam jak w przypadku szacowania skutków po zaistniałych wstrząsach tzn. polega na wyznaczeniu dla badanego rejonu tzw. relacji tłumienia, a na jej podstawie szacowaniu warunkowych wartości a_{\max} czy też v_{\max} .

Relacją tłumienia nazywamy równanie o postaci (Kornowski 2007):

$$a_{\max} = f_a(E, r, \Theta) + \gamma_a \quad (1)$$

lub

$$v_{\max} = f_v(E, r, \Theta) + \gamma_v \quad (2)$$

gdzie:

- γ_a i γ_v – losowy błąd obserwacji,
- E – energia,
- r – odległość źródło–obiekt,
- Θ – inne zmienne.

Uprozczone wyprowadzenie relacji tłumienia przedstawiono i szczegółowo omówiono w publikacjach np. Kornowskiego (2006), Kornowskiego i Kurzeji (2006) i na ich podstawie aproksymowano zależność między maksymalnym przyspieszeniem a_{\max} a energią E oraz odległością r równaniem o postaci:

$$\bar{a}_{\max} = \beta_1 E^{\beta_2} r^{-\beta_3} e^{-\beta_4 r} \quad (3)$$

gdzie wartości parametrów β_i można wyznaczyć na podstawie zbioru minionych, lokalnych wstrząsów.

Równanie (3) zapisać można w bardzo ogólnej i bardzo użytecznej postaci jako równanie liniowe:

$$\log_{10} \bar{a}_{\max} = b_1 + b_2 \log_{10} E + b_3 \log_{10} r + b_4 r \quad (4)$$

gdzie $b_1 = \log_{10} \beta_1$ i $b_4 = -\beta_4 r \cdot \log_{10} e$.

Wielkości a_{\max} , E , r nazywamy cechami wstrząsu, natomiast wielkości b_1 , b_2 , b_3 , b_4 nazywamy parametrami relacji tłumienia.

Gdy zmiennej r nadamy indeks „ i ” wskazujący stanowisko pomiarowe lub obiekt, to np. w przypadku rejestracji j wstrząsów dla każdego (i -tego) stanowiska pomiarowego możemy wówczas ułożyć j równań:

$$\log_{10} \bar{a}_{\max,i}(j) = b_{1,i} + b_2 \log_{10} E(j) + b_3 \log_{10} r_i(j) + b_4 r_i(j) \quad (5)$$

i rozwiązać tak otrzymany układ równań względem niewiadomych $b_{1,i}$, b_2 , b_3 , b_4 . Taka forma zapisu relacji tłumienia umożliwi zastosowanie metody regresji do estymacji jej parametrów.

Ze względu na to, że górotwór jest złożony i niejednorodny, a jego w pełni ścisły opis nie jest możliwy, przedstawiona relacja tłumienia jest równaniem bardzo przybliżonym, a estymacja wartości jej parametrów wiąże się z dalszymi założeniami i przybliżeniami i w związku z powyższym ocena a_{\max} jest bardzo niepewna. Dlatego podejście stochastyczne, rezygnujące z wyników „pewnych” na rzecz „prawdopodobnych”, pozwala uzyskać racjonalne, choć niepewne i niedokładne, prognozy. Probabilistyczna prognoza a_{\max} traktuje przyszłą wartość a_{\max} jako zmienną losową i określa (lub estymuje) jej rozkład prawdopodobieństwa. Znając postać (równanie) rozkładu i wartości jego parametrów, można obliczyć każde prawdopodobieństwo przedziałowe dla a_{\max} .

Każdorazowo gdy zaistnieje wstrząs, mierzona jest rzeczywista wartość a_{\max} , która porównywana jest z wartością wyprognozowaną. Otrzymane nowe wartości a_{\max} , E , r dołącza się do bazy, po przeliczeniu uzyskując aktualizację parametrów relacji tłumienia.

Wartości parametrów oblicza się „dopasowując” równanie (4) do zbioru zaobserwowanych wstrząsów określonych cechami $a_{\max}(j)$, $E(j)$, $r(j)$, $j = 1, \dots, N$. Oznacza to poszukiwanie takich wartości parametrów b_1 , b_2 , b_3 , b_4 , które minimalizują przyjęte kryterium jakości. Zazwyczaj kryterium tym jest średni błąd kwadratowy dopasowania na zbiorze N wstrząsów:

$$\bar{\varepsilon}^2 = N^{-1} \sum_{i=1}^N [a_{\max}(\text{obs}) - a_{\max}(\text{progn})]^2 \quad (6)$$

i takie kryterium przyjęto w opisanych w pracy badaniach.

1. Zbiory danych

Bazę pomiarową wykorzystaną do obliczeń stanowiło sześć zbiorów danych z dwóch obszarów górniczych KWK „Bobrek-Centrum” (B-C) oraz KWK „Rydułtowy-Anna” (R-A). Zasadniczo zbiory te miały taką samą konstrukcję, tzn. zawierały wartości maksymalnych przyspieszeń a_{\max} rejestrowanych na powierzchni oraz energie E i odległości epicentralne r wstrząsów skorelowanych z tymi przyspieszeniami. Poniżej przedstawiono bardziej szczegółowy opis zbiorów w zakresie rejestracji powierzchniowych.

1.1. Zbiory z rejonu KWK „Bobrek-Centrum”

Dane te stanowią maksymalne, trójskładowe, niefiltrowane przyspieszenia a_{\max}^{xyz} wszystkich zarejestrowanych wstrząsów o wartościach $a_{\max}^{xyz} > 65 \text{ mm/s}^2$.

Okres rejestracji obejmował lata 1998–2005.

Ilość zbiorów: 2.

Stanowiska powierzchniowe:

— Miechowice – 269 rejestracji,

— Karb – 270 rejestracji.

Rodzaj aparatury do rejestracji powierzchniowych – CRP-97 (produkcji Laboratorium Sejsmoakustyki GIG).

1.2. Zbiory z rejonu KWK „Rydułtowy-Anna”

Zbiory obejmują maksymalne, trójskładowe, filtrowane do 10 Hz przyspieszenia wszystkich wstrząsów.

Okres rejestracji: 2006 rok.

Ilość zbiorów: 4.

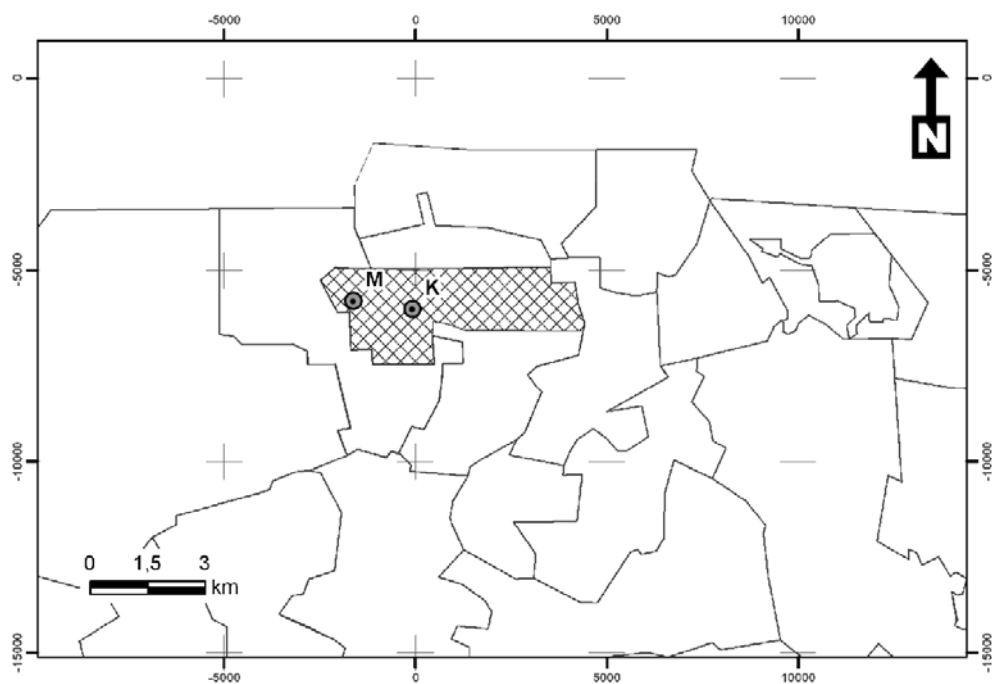
Stanowiska:

— Amax1 – 45 rejestracji,

— Amax2 – 58 rejestracji,

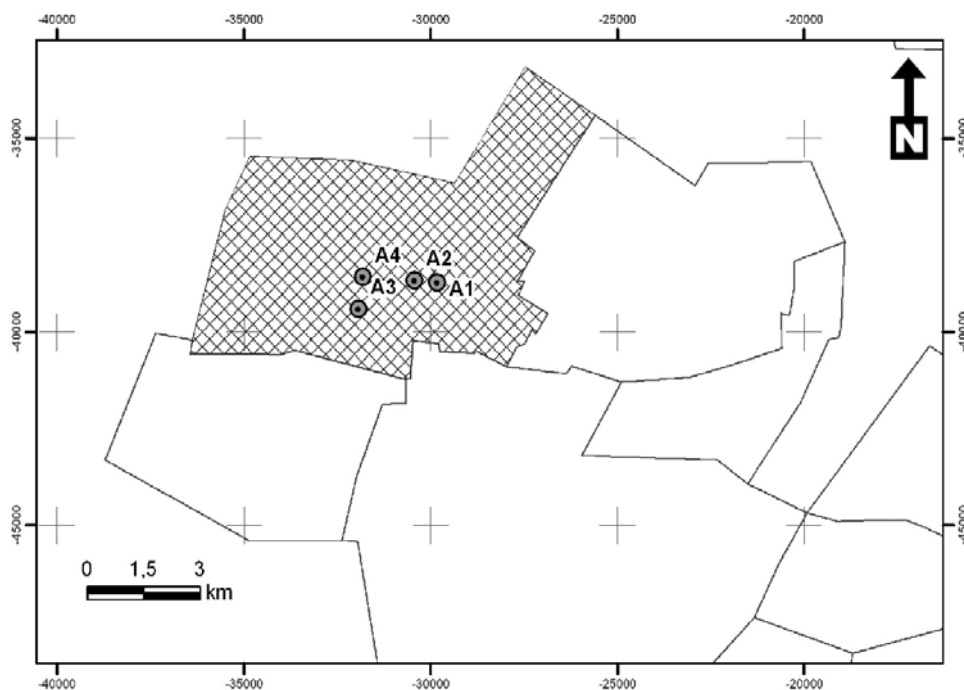
— Amax3 – 73 rejestracji,

— Amax4 – 87 rejestracji.



Rys. 1. Lokalizacja dwóch stanowisk do rejestracji a_{\max} na terenie KWK „Bobrek-Centrum”

Fig. 1. Location of the two recording (a_{\max}) stations in coal-mine “Bobrek-Centrum”



Rys. 2. Lokalizacja czterech stanowisk do rejestracji a_{\max} na terenie KWK „Rydułtowy-Anna”

Fig. 2. Location of the four recording (a_{\max}) stations in coal-mine “Rydułtowy-Anna”

Rodzaj aparatury do rejestracji powierzchniowych – AMAX (produkcji Laboratorium Sejsmologii i Sejsmiki Górniczej GIG).

Informacje o parametrach wstrząsów (E i r) uzyskano każdorazowo z odpowiednich kopalń.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono lokalizację stanowisk powierzchniowych do rejestracji przyspieszeń dla rejonu kopalni „Bobrek-Centrum” i „Rydułtowy-Anna”.

2. Estymatory maksymalnych przyspieszeń oraz wyniki przeprowadzonej nimi prognozy

Przy planowaniu podziemnej eksploatacji pod terenami zabudowanymi i podejmowaniu w tych sprawach decyzji administracyjnych powszechnie stosowany jest przez kopalnie empiryczny wzór (7) do oszacowania wartości maksymalnych przyspieszeń a_{\max} drgań gruntu. W związku z tym, że wzór ten podany przez G. Mutke (np. Mutke 1998) odnosi się do obszaru całego Górnego Śląska w pracy nazwano go estymatorem regionalnym. Poza estymatorem regionalnym badano również estymatory skonstruowane na bazie równania (4), nazwane – ze względu na „miejscowy” zakres ich zastosowania – estymatorami lokalnymi.

Porównania warunkowej prognozy dokonano dla sześciu predyktorów przyjmując za kryterium jakości wartość średniego błędu kwadratowego prognozy (r. 1.6). Zastosowane predyktory to:

1. Preg – predyktor regionalny określony równaniem:

$$areg(i) = [7,86(\log E_i)^2 - 28,69 \log E_i - 25,17] [1,53r_i^{0,155} \exp(-0,65r_i) + 0,014] \quad (7)$$

Równanie (7) pozwala na wyznaczenie wartości poziomych składowych wypadkowych amplitud przyspieszeń drgań w stropie warstw skalnych. Dla warstwy nadkładu słabo związłego otrzymane przyspieszenia należy modyfikować współczynnikiem amplifikacji. Dlatego, chcąc porównywać jakość prognozy estymatorem regionalnym z lokalnymi, maksymalne przyspieszenia uzyskane przy pomocy predyktora regionalnego mnożono każdorazowo przez wyznaczony dla danego stanowiska współczynnik amplifikacji.

Uwaga: Ze względu na to, że predyktor regionalny określony został tylko dla zjawisk silnych, o energiach $E > 1 \cdot 10^5$ J z oryginalnych zbiorów danych wyselekcjonowano podzbiory zawierające tylko wstrząsy o energiach $E > 1 \cdot 10^5$ J, co spowodowało znaczne ograniczenie liczebności badanych zbiorów.

W tabeli 1 zestawiono, dla wszystkich sześciu badanych stanowisk, aktualne wielkości zbiorów oraz wyznaczone (przez GIG) współczynniki amplifikacji.

2. Plok1 – predyktor lokalny określony równaniem (4) bez narzuconego ograniczenia na wartość parametrów b_2, b_3, b_4 .

3. Plok2 – predyktor lokalny określony równaniem (4) z narzuconymi ograniczeniami na wartość parametrów: $b_3 \leq 0, b_4 \leq 0$ – ograniczenia te wynikają z praw fizyki dotyczących badanego zjawiska.

4. Plok3 – predyktor lokalny określony równaniem (4) z narzuconym warunkiem $b_4 = 0$ spotykany również w literaturze (np. Lasocki i Olszewska 2003).

TABELA 1

Zestawienie dla stanowisk liczebności badanych zbiorów i oraz wartości współczynnika amplifikacji

TABLE 1

The quantity of tremors and amplification factor for a_{max} stations

Stanowisko	Liczebność zbioru	Współczynnik amplifikacji
Miechowice	104	1,8
Karb	108	1,2
Amax1	45	2,0
Amax2	56	1,9
Amax3	71	2,4
Amax4	84	1,8

Dwa kolejne predyktory stanowiły kombinację predyktora regionalnego Preg z predyktorem lokalnym Plok2.

5. Psre – predyktor uśredniony opisany równaniem:

$$\bar{a}_{\max}(\text{Psre}) = \frac{1}{2}[a_{\max}(\text{Preg}) + a_{\max}(\text{Plok2})] \quad (8)$$

6. Pkomb – zgodnie z algorytmem zaproponowanym przez Kornowskiego (2007) jako nieliniowy mechanizm kombinacji na podstawie predyktora Preg i Plok2.

Prognozę przeprowadzono za pomocą specjalistycznego oprogramowania RTLMC – autorstwa prof. Kornowskiego – zaimplementowanego w Laboratorium Sejsmoakustyki GIG.

Program RTLMC służy do celów badawczych umożliwiając testowanie:

- różnych algorytmów estymacji parametrów predyktora na podstawie zbioru rzeczywistych lub symulowanych wstrząsów określonych cechami $a_{\max}(i)$, $E(i)$, $r(i)$, $i = 1, \dots, N$ oraz
- różnych algorytmów oceny i warunkowej prognozy maksymalnego przyspieszenia a_{\max} drgań pochodzących od wstrząsów górniczych, gdy znane są (oszacowania) wartości energii E wstrząsu oraz odległości r źródła od obiektu/obserwatora.

RTLMC jest programem konwersacyjnym, sterowanym przez użytkownika w trakcie dialogu.

W trakcie sekwencyjnego przetwarzania zbioru danych, program oblicza (kolejno, dla napływających danych):

- wartości prognozowane predyktora regionalnego, lokalnego (z ograniczeniem narzuconym na parametry) oraz przyjętej wersji ich kombinacji,
- po dostarczeniu kolejnych obserwacji – błędy prognozy jako np. średniokwadratowe błędy prognozy. Program umożliwia również pracę na kompletnych (pełnych zbiorach) danych oraz ich fragmentach utworzonych poprzez nałożenie warunków na energie lub odległości epicentralne czy też jedno i drugie. Istnieje również możliwość programowego łączenia zbiorów.

W przeprowadzonych badaniach zastosowano predyktor sekwencyjny z pamięcią rosnącą – tzn. predyktor obliczony na zbiorze początkowym (uczącym się) i stosowany do prognozy najbliższego wstrząsu, następnie wstrząs ten włączany jest do zbioru uczącego, a parametry predyktora estymowane są na nowo itd. Każdorazowo wielkość startową zbioru uczącego się, na którym wyznaczano początkowe parametry predyktora – ze względu na wielkość badanych zbiorów oraz na podstawie przeprowadzonych wcześniej badań (Kornowski 2007) – przyjmowano jako 16.

Każdy z sześciu predyktorów badano na sześciu zbiorach danych dwukrotnie. Chcąc wykluczyć wpływ uwarunkowania danych raz wczytywano dane od pierwszego elementu do końcowego, a następnie w odwrotnej kolejności (od ostatniego elementu do pierwszego). W ten sposób otrzymano wyniki (w postaci błędów prognozy), które pogrupowano i zamieszczono w czterech tabelach 2, 3, 4, 5.

Tabela 2 dotyczy badanych zbiorów z rejonu B-C (oddzielnie dla stanowiska M i K oraz dla połączonych zbiorów) wczytanych w kolejności od pierwszego elementu do ostatniego, a tabela 3 dotyczy tych samych danych, ale wczytanych w odwrotnej kolejności. Podobnie skonstruowano tabele 4 i 5 z tym, że zbiory pochodziły z czterech stanowisk rejonu R-A.

TABELA 2

Zestawienie średnich błędów kwadratowych $\bar{\varepsilon}^2$ warunkowej sekwencyjnej prognozy a_{\max} w przypadku 6 różnych predyktorów, dla wstrząsów o energii $E > 1 \cdot 10^5$ J, zarejestrowanych na stanowiskach z rejonu „Bobrek-Centrum” (dane wczytano programem prognozującym w kolejności od początku do końca zbioru)

TABLE 2

$\bar{\varepsilon}^2$ of conditional sequential prediction a_{\max} for 6 predictors, energy tremors $E > 1 \cdot 10^5$ J registered in coal-mine “Bobrek-Centrum” (data read in natural order)

Predyktor	Zbiory danych z rej. KWK „Bobrek-Centrum”		
	Miechowice (M)	Karb (K)	M + K
Preg	17 086	55 607	34 845
Plok1	13 949	71 283	24 414
Plok2	13 886	31 575	24 244
Plok3	13 938	32 355	24 267
Psred	14 253	38 895	27 989
Pkomb	14 026	31 575	27 887

TABELA 3

Zestawienie średnich błędów kwadratowych $\bar{\varepsilon}^2$ warunkowej sekwencyjnej prognozy a_{\max} w przypadku 6 różnych predyktorów, dla wstrząsów o energii $E > 1 \cdot 10^5$ J, zarejestrowanych na stanowiskach z rejonu „Bobrek-Centrum” (dane wczytano programem prognozującym w kolejności od końca do początku zbioru)

TABLE 3

$\bar{\varepsilon}^2$ of conditional sequential prediction a_{\max} for 6 predictors, energy tremors $E > 1 \cdot 10^5$ J registered in coal-mine “Bobrek-Centrum” (data read in reversed order)

Predyktor	Zbiory danych z rej. KWK „Bobrek-Centrum”		
	Miechowice (M)	Karb (K)	M + K
Preg	31 233	61 285	43 079
Plok1	19 382	43 238	28 225
Plok2	18 748	44 325	28 677
Plok3	18 683	44 325	28 676
Psred	23 605	49 047	32 645
Plomb	19 071	37 913	27 352

TABELA 4

Zestawienie średnich błędów kwadratowych $\bar{\varepsilon}^2$ warunkowej sekwencyjnej prognozy a_{\max} w przypadku 6 różnych predyktorów, dla wstrząsów o energii $E > 1 \cdot 10^5$ J, zarejestrowanych na stanowiskach z rejonu „Rydułtowy-Anna” (dane wczytano programem prognozującym w kolejności od początku do końca zbioru)

TABLE 4

$\bar{\varepsilon}^2$ of conditional sequential prediction a_{\max} for 6 predictors, energy tremors $E > 1 \cdot 10^5$ J registered in coal-mine “Rydułtowy-Anna” (data read in natural order)

Predyktor	Zbiory danych z rej. KWK „Rydułtowy-Anna”				
	Amax1	Amax2	Amax3	Amax4	Amax1 + Amax2 + Amax3 + Amax4
Preg	8 409	12 750	22 641	9 724	13 782
Plok1	1 204	812	3 011	14 595	3 352
Plok2	1 165	1 885	2 636	11 837	3 336
Plok3	1 174	1 821	2 549	11 710	3 344
Psred	2 627	4 588	6 300	6 483	4 809
Plomb	1 165	1 597	2 636	6 000	3 336

TABELA 5

Zestawienie średnich błędów kwadratowych $\bar{\varepsilon}^2$ warunkowej sekwencyjnej prognozy a_{\max} w przypadku 6 różnych predyktorów, dla wstrząsów o energii $E > 1 \cdot 10^5$ J, zarejestrowanych na stanowiskach z rejonu „Rydułtowy-Anna” (dane wczytano programem prognozującym w kolejności od końca do początku zbioru)

TABLE 5

$\bar{\varepsilon}^2$ of conditional sequential prediction a_{\max} for 6 predictors, energy tremors $E > 1 \cdot 10^5$ J registered in coal-mine “Rydułtowy-Anna” (data read in reversed order)

Predyktor	Zbiory danych z rej. KWK „Rydułtowy-Anna”				
	Amax1	Amax2	Amax3	Amax4	Amax1 + Amax2 + Amax3 + Amax4
Preg	1 198	1 990	14 810	9 737	7 220
Plok1	820	2 727	3 485	5 371	3 798
Plok2	817	2 585	3 792	4 060	2 654
Plok3	903	2 606	3 339	4 118	3 454
Psred	864	1 858	5 550	4 882	3 087
Pkomb	814	1 816	3 792	4 060	2 654

We wszystkich czterech tabelach wyłuszczone minimalne dla danego zbioru wartości otrzymanych średniokwadratowych błędów predykcji. Już na pierwszy rzut oka widać, że nie można stwierdzić, który z predyktorów jest jednoznacznie najlepszy. Natomiast dla zdecydowanej większości zbiorów prognoza predyktorem lokalnym niezależnie od jego formy daje znacznie lepsze wyniki w konfrontacji z prognozą predyktorem regionalnym.

Najlepszym z predyktorów lokalnych wydaje się być Plok2 czyli predyktor z narzuconymi ograniczeniami na parametry.

Odwrocenie kolejności wczytywania do programu elementów w zbiorach danych (wyniki w tab. 3 i 5) nie wpłynęło jednoznacznie na jakość prognozy.

Zastosowanie predyktorów kombinowanych (szczególnie Pkomb) powoduje, że jakość prognozy jest zdecydowanie lepsza od prognozy predyktorem regionalnym. Predyktor (Pkomb) lepiej prognozuje od Psred, a czasami jest najlepszym z zaproponowanych predyktorów. Ostatnia kolumna w każdej z tabel zawiera wyniki prognozy dla zbiorów połączonych z danego rejonu. W większości przypadków otrzymane wyniki różnią się tylko o kilka procent od średniej z prognoz ze wszystkich stanowisk dla danego predyktora.

Podsumowanie

1. Zamierzeniem publikacji było porównanie jakości prognozy maksymalnych przyspieszeń drgań gruntu kilkoma zaproponowanymi estymatorami – predyktor regionalny porównano z predyktorami lokalnymi przedstawionymi w kilku wersjach oraz ich kombinacją. Dodatkowo prognozowano przy pomocy algorytmu nieliniowego zaproponowanego i opisanego w publikacji Kornowskiego (2007).
2. Bazę danych stanowiły zarejestrowane na 6 stanowiskach powierzchniowych (dwa stanowiska z rejonu KWK „Bobrek-Centrum” i cztery KWK „Rydułtowy-Anna”) wartości maksymalnych przyspieszeń a_{\max} oraz odpowiadające im parametry wstrząsów (energia E oraz odległość epicentralna r). Miarą jakości prognozy był jej średni błąd kwadratowy wyznaczany zgodnie z równaniem (6).
3. Sformułowane wnioski dotyczą tylko badanych zbiorów i pomimo, że pochodziły one z dwóch różnych, znacznie odległych od siebie rejonów GZW – gdzie pomiary a_{\max} odbywały się za pomocą dwóch rodzajów aparatury (rej. „Bobrek-Centrum” – CRP-97, a „Rydułtowy-Anna” – AMAX) oraz w przypadku zbioru drugiego wartości a_{\max} wyznaczono na przefiltrowanych do 10 Hz przebiegach – można znaleźć wspólne właściwości otrzymanych wyników:
 - prognoza predyktorem regionalnym, pomimo dostosowania jej do warunków lokalnych poprzez współczynnik amplifikacji, każdorazowo zdecydowanie była gorsza od prognozy predyktorami lokalnymi;
 - w przypadku trzech predyktorów lokalnych (bez ograniczeń – Plok1, z ograniczeniami – Plok2, w formie okrojonej – Plok3) najczęściej najlepsze wyniki, choć bardzo zbliżone do pozostałych, otrzymano predyktorem Plok2 (dla zbiorów z rej. „Bobrek-Centrum”). Nie było to już takie jednoznaczne w przypadku odwrócenia kolejności danych w zbiorach;
 - zastosowanie kombinacji predyktorów regionalnych z lokalnymi (w postaci uśrednionej oraz algorytmu nieliniowego) zawsze dawało znacznie lepszą prognozę od

- prognozy regionalnej. Często prognoza predyktorem Pkomb (algorytm nieliniowy) była najlepsza z proponowanych predyktorów;
- łączenie zbiorów w ramach jednego rejonu (często) powodowało w przybliżeniu uśrednianie wyników prognozy dla poszczególnych stanowisk.

LITERATURA

- Gibowicz S.J., 1985 – Problemy oceny zagrożenia sejsmicznego na terenach górniczych. Mat. II Krajowego Symp. n.t. „Ochrona powierzchni przed szkodami górniczymi”, SITG – Zarząd Główny, s. 56–70.
- Kornowski J., 2006 – Wpływ liczebności zbioru obserwacji oraz dynamiki odległości i energii wstrząsów na dokładność estymacji parametrów relacji tłumienia. Mat. Międz. Konf. Naukowo-Technicznej z cyklu GZN’2006, Katowice, s. 146–158.
- Kornowski J., 2007 – Regionalna i lokalna prognoza maksymalnych przyspieszeń od wstrząsów górniczych. Górnictwo i Środowisko, Prace Naukowe GIG, kwartalnik Nr III/2006, s. 243–254.
- Kornowski J., Kurzeja J., 2006 – Ocena błędu warunkowej prognozy a_{\max} określonej na podstawie relacji tłumienia. Materiały Sympozjum Warsztaty Górnicze z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie”, Kraków-Tomaszowice, 12–14 czerwca 2006. Sympozja i Konferencje 67. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s. 167–191.
- Lasocki S., Olszewska D., 2003 – Wpływ niejednorodnych efektów lokalnych na dokładność prognozy rozprzestrzeniania się drgań – przykład z terenu miasta Polkowice. „Warsztaty ’2003”, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s. 113–126.
- Mutke G., 1998 – Metoda prognozy wpływu wstrząsów na powierzchnię. Materiały Sympozjum Warsztaty’98 z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie”, Ustroń Śl., 27–29 maja 1998. Sympozja i Konferencje 32, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, s. 67–76.

WERYFIKACJA WYBRANYCH ESTYMATORÓW MAKSYMALNYCH PRZYSPIESZEŃ a_{\max} DRGAŃ NA POWIERZCHNI TERENÓW GÓRNICZYCH NA GÓRNYM ŚLĄSKU

Słowa kluczowe

Wstrząsy górnicze, maksymalne przyspieszenia drgań gruntu, predyktor, relacja tłumienia

Streszczenie

W publikacji przeprowadzono analizę porównawczą jakości prognozy – maksymalnych przyspieszeń drgań gruntu a_{\max} spowodowanych wstrząsami górniczymi – zaproponowanymi estymatorami mając na uwadze znane empiryczne równanie (tzw. estymator regionalny) stosowane aktualnie przez wszystkie kopalnie GZW. Cała praca dotyczy wyłącznie prognozy warunkowej tzn. formułowanej pod warunkiem znanych wartości energii wstrząsów E oraz odległości epicentralnych r . Metoda prognozy polega na wyznaczeniu dla badanego rejonu tzw. relacji tłumienia, traktując przyszłą wartość a_{\max} jako zmienną losową a na jej podstawie szacowaniu warunkowych wartości a_{\max} . Wartości liczbowe parametrów relacji tłumienia oblicza się dopasowując równanie charakteryzujące tłumienie do zbioru już zaobserwowanych N wstrząsów określonych cechami $(a_{\max}(i), E(i), r(i), i = 1, \dots, N)$. W publikacji oznaczało to poszukiwanie takiej czwórki liczb, która minimalizuje przyjęte kryterium jakości. Do badań wykorzystano archiwalne dane z dwóch znacznie odległych od siebie obszarów górniczych, tj. KWK „Rydułtowy-Anna” oraz „Bobrek-Centrum”. Porównania warunkowej prognozy dokonano dla sześciu zaproponowanych predyktorów przyjmując za kryterium jakości wartość średniego błędu kwadratowego prognozy. Zastosowane predyktory to predyktor regionalny, predyktory lokalne w kilku wersjach oraz ich kombinacja. Dodatkowo prognozowano przy pomocy algorytmu nieliniowego opisanego w publikacji Kornowskiego (2007).

Prognozę przeprowadzono przy pomocy specjalistycznego oprogramowania RTLMC zaimplementowanego w Laboratorium Sejsmoakustyki GIG. Uzyskane wyniki doprowadziły do wniosku, że stosowanie predyktora regionalnego do prognozy a_{max} , pomimo dostosowania metody do warunków lokalnych poprzez współczynnik amplifikacji, daje zdecydowanie gorszą jakość prognozy od prognozy predyktorami lokalnymi. Najlepszym z predyktorów lokalnych był predyktor z narzuconymi ograniczeniami na parametry. Zastosowanie kombinacji predyktorów regionalnych z lokalnymi (w postaci uśrednionej oraz algorytmu nieliniowego) każdorazowo dawało znacznie lepszą prognozę od prognozy regionalnej.

VERIFICATION OF SELECTED MAXIMUM ACCELERATIONS ESTIMATORS FOR TREMORS IN THE UPPER SILESIA REGION

Key words

Mining tremors, maximum accelerations of ground vibrations, predictor, attenuation relation

Abstract

In this publication some algorithms, for predicting a_{max} , maximum acceleration of ground motion vibrations from mining tremors, have been compared, taking into account their predictions quality. Only conditional predictions have been analysed, meaning predictions made given mining tremors energies (E) and epicentral distances (r). All the prediction methods used here assume the known form of the parametric attenuation relation (4), with numerical values of parameters estimated fitting the relation to the set of N observed tremors characterized with attributes ($a_{max}(i), E(i), r(i), i = 1, \dots, N$). Data from the Upper Silesia two distant regions of "Rydułtowy-Anna" and "Bobrek-Centrum" coal mines has been used and the mean squared prediction error applied as the quality of prediction measure. Among competing predictors were: regional predictor of (7), three individual local predictors ((4) unconditional, conditional on $b_3 \leq 0, b_4 \leq 0$, conditional on $b_4 = 0$), and combinations (averaging and nonlinear suggested by Kornowski (2007) of local and regional predictors. Prediction was made by using technical software RTLMC implemented in Laboratory of Seismoacoustic of Coal Mining Institute. As a result, it can be concluded that the regional predictor, though equipped with local amplification factor (and in this sense adapted to local conditions) predict definitely worse than its local competitors applied without any special care of amplification. The best of local predictors seems to be one with physically limited parameters $b_3 \leq 0, b_4 \leq 0$. Combination of regional and local predictions, both simply averaging or nonlinearly combining individual predictions, systematically predicted much better than the regional predictor.