

Janusz MIREK\*, Stanisława BOCIAN\*\*, Maria BĄCZKOWSKA\*\*,  
Magdalena MACIOSZCZYK\*\*

\* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Kraków

\*\* Urząd Gminy Polkowice

## System monitoringu sejsmometrycznego na terenie Gminy Polkowice

### Streszczenie

Obszary, na których prowadzona jest podziemna eksploatacja górnictwa mogą być narażone na wstrząsy górnicze. Legnicko-Głogowski Okręg Miedziowy należy do rejonów, gdzie obserwuje się silne wstrząsy górnicze, które oddziałują na obiekty zlokalizowane na powierzchni. W 1999 roku Gmina Polkowice zaczęła mierzyć drgania na terenie miasta Polkowice. Okazało się, że poziom drgań, związanych z eksploatacją złóż miedzi obserwowany na powierzchni, jest na tyle wysoki, że może stanowić zagrożenie dla infrastruktury powierzchniowej miasta. Artykuł opisuje sieć sejsmometryczną, która rozwinęła się w ostatnich latach na terenie Gminy Polkowice. W 2002 roku zainstalowany został system pomiarowo-interpretacyjny SEJS-NET kontrolujący sieć pomiarową. Obecnie sieć pomiarowa to 14 stanowisk zlokalizowanych w Polkowicach, Polkowicach Dolnych i Tarnówku.

### 1. Wstęp

Miasto Polkowice przed 1960 rokiem było niewielkim miasteczkiem zamieszkałym przez ok. 3 500 mieszkańców. Dziś miasto liczy ok. 23 000 ludności. Dynamiczny jego rozwój łączy się z powstaniem na tym terenie przemysłu miedziowego. W połowie lat 60. ubiegłego wieku w ramach LGOM powstaje Zakład Górniczy „Polkowice”, a po roku 1970 – Zakład Górniczy „Rudna”. Miasto Polkowice miało stać się „sypialnią” dla górników tych zakładów. Pierwsze dwanaście budynków czterokondygnacyjnych budują w m. Polkowice ZG „Polkowice”. Po roku 1970, po powstaniu ZG „Rudna”, kolejne budynki już nie tylko 4-kondygnacyjne, ale i 11-kondygnacyjne budują ZG „Rudna” (na mocy decyzji administracji rządowej)! Pod miastem Polkowice zalegało złożo o wysokiej zawartości miedzi, o miąższości od 5,0 w części płd.-zach. do 16,0 m w części płn.-wsch. Dla tej części miasta, w której budowano bez profilaktycznych zabezpieczeń na szkody górnicze, utworzono filar ochronny.

W 1975 roku w filarze ochronnym miasta wyeksploatowano niewielką powierzchnię złoża, systemem z zawałem stropu. W latach 1978–1983 wyeksploatowano już – systemem z zawałem stropu – ok. 20 % powierzchni filara ochronnego miasta. W tym czasie pojawiły się wstrząsy pochodzenia górniczego z epicentrum w filarze ochronnym miasta. Spotkało się to z silną dezaprobatą mieszkańców, można powiedzieć – nawet z paniką wśród mieszkańców.

W latach 1983–1991 (do pierwszej połowy) nie prowadzono eksploatacji w filarze ochronnym miasta. W tym czasie wykonano profilaktyczne zabezpieczenia budynków 5-kondygnacyjnych (wieloklatkowych) i budynków 11-kondygnacyjnych. Od 1991 roku eksploatacja w filarze ochronnym miasta prowadzona była z równoczesną likwidacją przestrzeni wybranej podsadzki hydraulicznej.

Prowadzona w filarze ochronnym miasta eksploatacja górnicza – w miarę powiększania się przestrzeni wybranej – generowała wstrząsy o coraz to większej energii. W latach 1998–1999 wystąpiło 5 wstrząsów o  $E > 1,0 \cdot 10^8$  J, co spowodowało poczucie niepewności i duży wzrost uciążliwości zamieszkiwania na tym terenie.

Zgodnie z zapisami w Planie ruchu dla określenia wpływów wstrząsów pochodzenia górniczego na powierzchnię terenu kopalnia korzystała ze skał MSK-64. Stopnie intensywności drgań podawane przez kopalnię nie odpowiadały odczuciom mieszkańców. W związku z powyższym Burmistrz w 1999 r. zdecydował o zakupieniu pierwszego akcelerometru. Wskaźnik akcelerometryczny zlokalizowano w gruncie i mierzono przyspieszenia drgań gruntu podczas wstrząsów pochodzenia górniczego.

Ponieważ już nie tylko odczucia mieszkańców, ale i bezpośrednie pomiary parametrów drgań gruntu podczas wstrząsów pochodzenia górniczego były wyższe od prognozowanych w Planie ruchu (Aktualizacja Pr. Eks.), w 2000 roku opomiarowano kolejne budowle w mieście w tym :

- budynek na ul. Hubala nr 24 (grunt, fundament, 11 piętro),
- budynek na ul. Kolejowej nr 12 – 3-kondygnacyjny (grunt, fundament),
- AQVAPARK – budowla nietypowa (żelbetowa płyta, na której jest posadowiona budowla).

W dniu 20 lutego 2002 r. miał miejsce wstrząs o  $E = 1,5 \cdot 10^9$  J z epicentrum w filarze ochronnym miasta. Po tym wstrząsie dla pełnego rozeznania zachowania się typowych budynków w mieście opomiarowano jeszcze budynek 11-kondygnacyjny wieloklatkowy na ul. Skalników nr 23 (grunt, fundament, 11 piętro). W tym samym czasie, ze względu na rozbudowę zbiornika odpadów poflotacyjnych Żelazny Most zlokalizowano akcelerometr we wsi Tarnówek (grunt, fundament).

W 2004 roku rozpoczęto opomiarowywanie tej części miasta Polkowice (dawna wieś Polkowice Dolne), która zgodnie z zapisami w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego będzie intensywnie rozbudowywana. Tak powstała gminna sieć pomiarowa wstrząsów pochodzenia górniczego, złożona z 7 stanowisk o łącznej liczbie 13 wskaźników akcelerometrycznych.

## 2. System SEJS-NET

System monitoringu poziomu drgań sejsmicznych na terenie Gminy Polkowice działa na bazie sejsmometrycznego systemu pomiarowo-interpretacyjnego SEJS-NET (Mirek 2000; Lasotki, Mirek 2001). System ten składa się z Centralnej Bazy Pomiarowej (CBP), pełniącej funkcję nadrzędną w systemie, oraz zespołu Stacji Pomiarowych (SP) zlokalizowanych na poszczególnych stanowiskach pomiarowych. Całość systemu działa automatycznie i bezobsługowo. Komunikacja między CBP i poszczególnymi SP, oraz użytkownikami systemu i CBP, zrealizowana jest w oparciu o sieć Internet.

Centralna Baza Pomiarowa stanowi zespół oprogramowania serwerowego zintegrowanego z relacyjną bazą danych. Oprogramowanie to, zainstalowane na wydajnym, komputerowym serwerze sieciowym, umożliwia zarządzanie i kontrolę całego systemu monitoringu. W bazie

danych CBP przechowywane są dane pomiarowe dostarczane przez stacje SP, parametry pracy, lokalizacji i aktualnego stanu poszczególnych SP, oraz lista użytkowników uprawnionych do korzystania z systemu zawierająca dane personalne, hasła dostępu i uprawnienia użytkowników. Dane pomiarowe zgrupowane są w logiczne projekty, które mogą odzwierciedlać fizyczne sieci pomiarowe lub logiczny podział sieci. W obrębie projektów wydzielone są stanowiska pomiarowe, do których przypisane są fizyczne stacje pomiarowe. Każda stacja SP ma swój unikatowy identyfikator i może obsługiwać kilka stanowisk pomiarowych w zależności od tego w ile została wyposażona czujników. Jeśli nastąpi przeniesienie SP na inne stanowisko pomiarowe, to po utworzeniu nowego stanowiska w CBP, stacja zostanie skojarzona z tym stanowiskiem. Nowe dane dostarczane przez SP będą od tej pory zapisywane w CBP jako dane zarejestrowane na nowym stanowisku pomiarowym.

Użytkownicy systemu komunikują się z CBP poprzez sieć Internet używając przeglądarki internetowej jako interfejsu użytkownika. Rozwiązanie takie daje użytkownikowi możliwość dostępu do systemu z dowolnego komputera na świecie, pracującego w sieci Internet. CBP posiada bazę autoryzowanych użytkowników o różnym poziomie dostępu. Podstawowy poziom umożliwia użytkownikowi przeglądanie zarejestrowanych zjawisk w bazie danych, Interpretację ich, drukowanie wyników oraz pobieranie danych w postaci pików ASCII. Poziom drugi dostępu do bazy danych przeznaczony jest dla użytkowników zaawansowanych i, oprócz podstawowych funkcji, umożliwia monitoring pracy sieci, usuwanie zjawisk będących zakłóceniami oraz import danych z systemów obcych i zarządzanie plikami danych na serwerze. Trzeci poziom, to poziom administratora systemu. Użytkownik mający dostęp do tego poziomu ma możliwość zarządzania pracą całej sieci pomiarowej, dodawania nowych stanowisk SP, modyfikacji parametrów pracy SP i zmiany reżimu przesyłania danych pomiędzy SP a CBP. Oprócz tego na poszczególnych poziomach dostępu istnieje możliwość włączania i wyłączania niektórych przywilejów użytkownika, jak np. import danych do systemu.

Stacje pomiarowe działające w sieci mają za zadanie wykrywanie zjawisk sejsmicznych, ich rejestrację i przekazywanie do serwera CBP. System SEJS-NET został zaprojektowany razem ze stacjami pomiarowymi typu SNRC i SNRC-TX. Stacje te są w pełni zintegrowane z systemem i mogą być zarządzane centralnie z poziomu CBP przez użytkowników mających prawa administratora systemu (Mirek 2001). Stacje te mogą być przyłączane do sieci Internet poprzez dowolne łącze dostępowe zarówno szerokopasmowe, jak i typu dial-up, oraz poprzez sieć pakietową GPRS/EDGE/UMTS. Dane rejestrowane przez stacje SNRC przesyłane są, w zależności od technologii dostępu do sieci i ustawień systemu, bezpośrednio po zarejestrowaniu zjawiska lub w określonych porach dnia, np. w porach o najniższej stawce taryfikacyjnej dla połączeń typu dial-up. Parametry stacji SNRC/SNRC-TX zestawiono w tabeli 2.1.

System SEJS-NET może także współpracować z innymi rejestratorami, jak np. AMAX-98. Rejestratory te mają możliwość udostępniania danych poprzez mechanizm udostępniania zasobów, jaki daje system operacyjny MS Windows 98, pod kontrolą którego pracują. W związku z tym, po odpowiedniej konfiguracji, CBP może pobierać dane z rejestratorów AMAX-98. Jest to jednak łączność jednostronna i serwer CBP nie może kontrolować ich pracy.

Oprócz bezpośredniej współpracy ze stacjami pomiarowymi, system ma możliwość importu danych z obcych systemów pomiarowych. W takim przypadku służy on jedynie jako baza danych oraz system przetwarzania danych pomiarowych. Jako przykład rejestratora, który nie może bezpośrednio współpracować z systemem, można wymienić rejestratory WORS. Urządzenia te zapisują dane na dyskietce i nie mają możliwości zdalnego połączenia. Dane pomiarowe mogą być jedynie zaimportowane do CBP.

Parametry stacji pomiarowych typu SNRC  
Parameters of the SNRC station

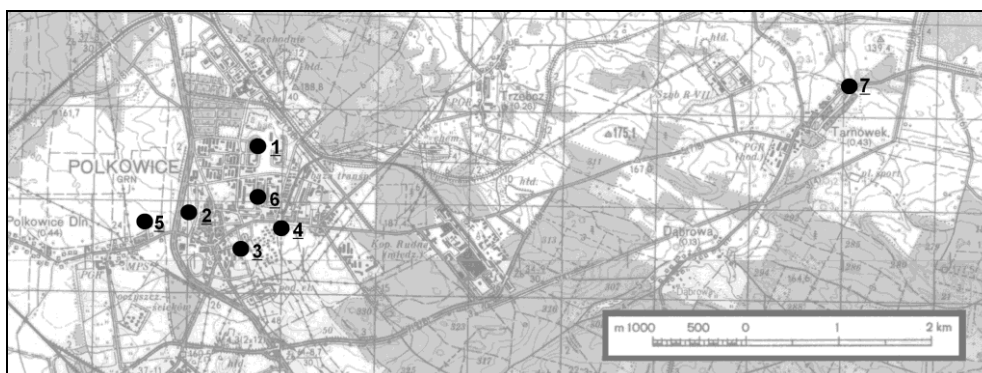
Tabela 2.1.

Table 2.1.

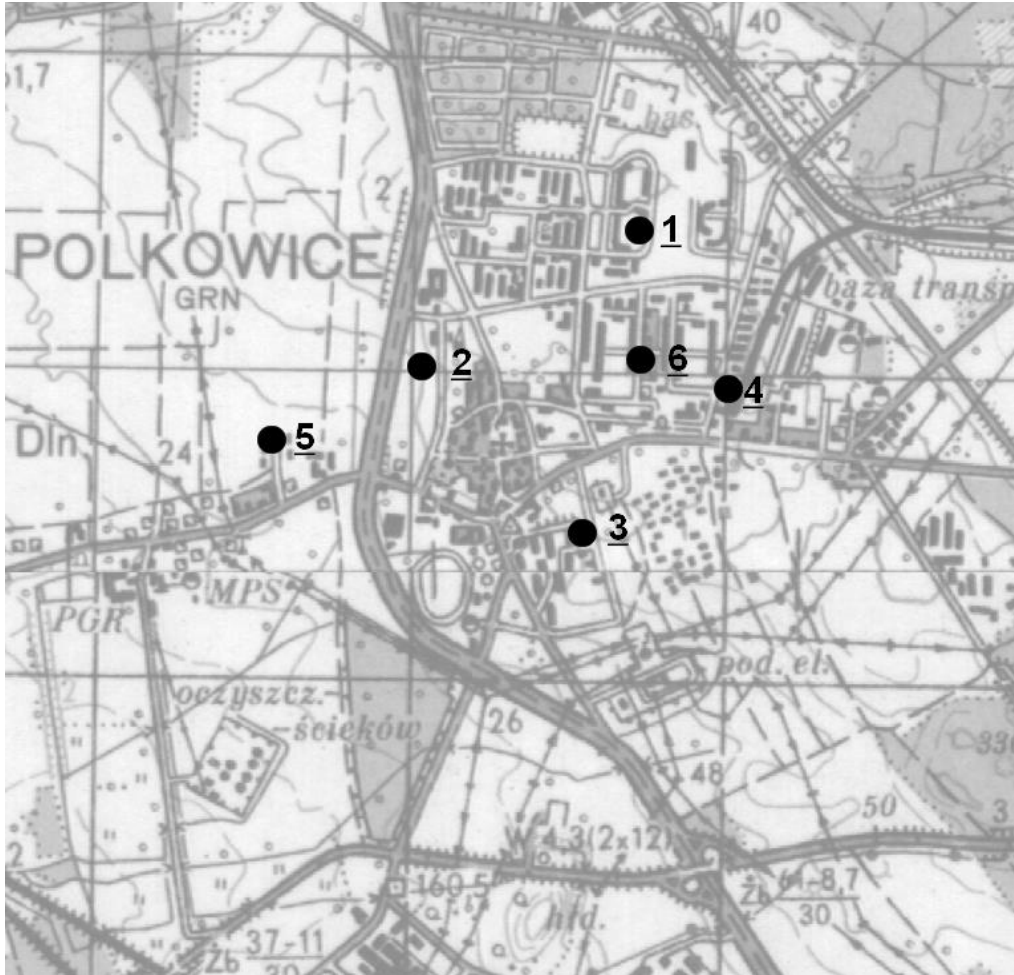
Parametry Stacji Pomiarowej SNRC/SNRC-TX	
Typ czujnika	akcelerometr trójosiowy
Zakres pomiarowy	$\pm 5 \text{ m/s}^2$
Pasma przenoszenia	0.3 ÷ 500 Hz
Częstotliwość próbkowania	1000 Hz
Temperatura pracy czujnika	-29 ÷ +76 °C
Temperatura pracy rejestratora	-5 ÷ +50 °C
Interfejsy sieciowe	Ethernet/Dial-up/GPRS
Zasilanie	230 V AC lub 9-44 V DC

### 3. Sejsmometryczna sieć pomiarowa na terenie Gminy Polkowice

System SEJS-NET został uruchomiony na terenie Gminy Polkowice w sierpniu 2002 roku. Serwer CBP został zainstalowany w Polkowicach, w budynku Urzędu Gminy. Zainstalowano także dwie stacje pomiarowe typu SNRC w pełni kompatybilne z systemem. Jedna stacja została zainstalowana na ul. Skalników w Polkowicach, druga w miejscowości Tarnówek. Stacja pomiarowa na ul. Skalników obsługuje trzy stanowiska pomiarowe. Pierwsze stanowisko zlokalizowane jest w gruncie. Czujnik akcelerometryczny został umieszczony w studziencie pomiarowej obok monitorowanego, jedenastokondygnacyjnego budynku, w którym umieszczono dwa pozostałe czujniki akcelerometryczne na fundamencie budynku i na jedenastym piętrze. W Tarnówku zainstalowano dwa trójosiowe akcelerometry, jeden w gruncie, drugi na fundamencie budynku. Obydwie stacje pomiarowe włączone są na stałe do sieci Internet i pracują on-line, przekazując do serwera CBP na bieżąco zarejestrowane zjawiska (Mirek 2005).



Rys. 3.1. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych na terenie Gminy Polkowice  
Fig. 3.1. Location of the network stations in the Polkowice Commune



Rys. 3.2. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych na terenie Polkowic  
Fig. 3.2. Location of the network stations in the Polkowice city

W czasie, gdy instalowano system SEJS-NET, istniały już rejestratory AMAX-98 pracujące na terenie miasta Polkowice. Jeden z rejestratorów AMAX-98, wyposażony w trójosiowy czujnik akcelerometryczny, monitoruje drgania na płycie fundamentowej Aquaparku. Kolejny rejestrator zainstalowano na ul. Hubala, gdzie trójosiowe czujniki akcelerometryczne umieszczono w gruncie koło monitorowanego budynku, na fundamencie budynku oraz na jedenastym piętrze. Oprócz tych trzech czujników do czerwca 2004 roku zainstalowany był także czwarty czujnik na czwartym piętrze monitorowanego budynku. Ostatni rejestrator zainstalowano na ul. Kolejowej, gdzie przy pomocy dwóch trójosiowych czujników akcelerometrycznych monitoruje drgania w gruncie i na fundamencie budynku.

Wszystkie trzy rejestratory AMAX-98 zostały włączone do systemu SEJS-NET, jednak, jak już wspomniano, komunikacja jest zrealizowana jedynie na poziomie pobierania danych z rejestratorów. Dane ze stanowiska na ul. Kolejowej i z Aquaparku pobierane są raz dziennie przez połączenie dial-up. Stanowisko przy ul. Hubala zostało wyposażone w pośredniczący w transmisji serwer, który na bieżąco pobiera dane z rejestratora i przekazuje do serwera CBP poprzez stałe łącze internetowe.

W listopadzie 2004 roku uruchomiono kolejne stanowisko pomiarowe w Polkowicach Dolnych. Zainstalowano tam jeden trójosiowy czujnik akcelerometryczny mierzący drgania w gruncie. Stanowisko wyposażono w rejestrator SNRC-TX ze stałym podłączeniem do Internetu.

Oprócz wymienionych stanowisk pomiarowych istnieje jeszcze stanowisko na ul. Lipowej działające od 1999 roku, na którym pracuje rejestrator typu WORS. Rejestrator ten zapisuje dane na dyskietce, nie ma możliwości zdanej transmisji i nie jest włączony w system SEJ-NET. Listę aktualnie pracujących rejestratorów na terenie gminy zestawiono w tabeli 3.1. Mapa lokalizacji stanowisk na terenie gminy i samego miasta Polkowice zobrazowana jest na rys. 3.1 i 3.2.

Tabela 3.1.

Stacje sejsmometryczne działające na terenie Gminy Polkowice

Table 3.1.

The list of the recorders working in the Polkowice Commune area

Nr	Lokalizacja stacji	Data instalacji i typ rejestratora	Współrzędne stanowiska		Wysokość n.p.m. (m)	Lokalizacja czujników
			X	Y		
1	Polkowice Os. Skalników	2002-08 SNRC	31440	5680	180	1. grunt 2. fundament 3. XI piętro
2	Polkowice Aquapark	2000 AMAX-98	31050	5000	180	1. fundament
3	Polkowice ul. Hubala	2000 AMAX-98	30500	5520	180	1. grunt 2. fundament 3. XI piętro 4. IV piętro do 2004-06
4	Polkowice ul. Kolejowa	2000 AMAX-98	30870	5950	180	1. grunt 2. fundament
5	Polkowice Dolne	2004-11 SNRC-TX	30780	4570	163	1. grunt
6	Polkowice ul. Lipowa	? WORS			180	1. grunt
7	Tarnówek	2002-08 SNRC	32300	12050	125	1. grunt 2. fundament

Baza danych CBP zawiera aktualnie prawie 4 500 zjawisk zarejestrowanych na terenie gminy Polkowice w czasie działania sieci pomiarowej. Zestawienie ilości zjawisk z podziałem na przedziały wypadkowej amplitudy przyspieszeń zestawiono w tabeli 3.2.

Tabela 3.2.  
Zestawienie ilości zjawisk zarejestrowanych na poszczególnych stanowiskach  
Table 3.2.  
Amount of the events registered by the individual recorders

Stanowisko	PGA, $f \leq 10$ Hz [m/s <sup>2</sup> ]	max	Ilość rejestracji w danym przedziale maksymalnych amplitud wypadkowych					
			<0.05	0.05÷0.12	0.12÷0.25	0.25÷0.5	0.5÷1.0	>1.0
Polkowice ul. Skalników	grunt	0.695	194	85	31	12	2	–
	fundament	0.437	223	73	20	10	–	–
	XI piętro	0.743	132	120	56	13	4	–
Aquapark	fundament	0.625	86	61	29	4	5	–
Polkowice ul. Hubala	grunt	1.131	288	95	36	12	5	1
	fundament	0.655	368	49	9	5	3	–
	XI piętro	1.401	274	98	41	10	6	4
	IV piętro	0.539	191	28	5	3	1	–
Polkowice ul. Kolejowa	grunt	1.435	512	113	42	26	9	2
	fundament	1.868	477	118	56	26	15	4
Polkowice Dln.	grunt	0.447	86	16	4	3	–	–
Tarnówek	grunt	0.280	111	13	5	1	–	–
	fundament	0.391	100	16	6	1	–	–
Suma			3042	885	340	126	50	11
			<b>4454</b>					

#### 4. Podsumowanie

System SEJS-NET pracuje na terenie Gminy Polkowice monitorując drgania sejsmiczne pochodzące od działalności górniczej pobliskich kopalń miedzi. Dzięki wykorzystaniu technologii internetowych zarządzanie systemem nie wymaga dużego zaangażowania ze strony administratorów systemu a użytkownicy mają swobodny dostęp do gromadzonych danych. Baza danych sejsmometrycznych zdalnie udostępnia materiał badawczy placówkom naukowym, m.in. Akademii Górniczo-Hutniczej, Głównemu Instytutowi Górnictwa, Politechnice Krakowskiej, Akademii Nauk Republiki Czeskiej. Na tej bazie powstało szereg publikacji na temat propagacji drgań (np. Lasotki 2002), amplifikacji drgań (np. Olszewska, Lasocki 2002, 2003), a także prognozy drgań gruntu na terenie miasta (np. Lasocki 2002).

#### Literatura

- [1] Aktualizacja Programu Eksploatacji i Ochrony Powierzchni w Filarze Ochronnym m. Polkowice na lata 2004–2010, CBPM Cuprum Sp z o.o.
- [2] Lasocki S., Mirek J. 2001: SEJS-NET: rozległy system rejestracji drgań sejsmicznych zrealizowany w technologii Internetu. [W:] Streszczenia referatów konferencji „Geofizyka w inżynierii i ochronie środowiska dla potrzeb samorządności lokalnej”, J. Jarzyna (red.), Kraków, 34–36.

- [3] Lasocki S., Orlecka-Sikora B., 2002: Prognoza drgań gruntu na terenie miasta Polkowice dla okresu 2001–2013. Geotechnika i budownictwo specjalne 2002: ze szczególnym uwzględnieniem problematyki towarzyszącej eksploatacji rud miedzi. [W:] XXV Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej. Zakopane, 18–22 marca 2002, D. Flisak (red.), Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki AGH, Kraków, Wydawnictwo KGBiG AGH, 369–384.
- [4] Lasocki S., 2002: Relacja tłumienia wartości szczytowej składowej poziomej przyspieszenia drgań gruntu w paśmie częstotliwości do 10 Hz dla rejonu miasta Polkowice. [W:] Badania geofizyczne środowiska geologicznego, J. Jarzyna (red.); Polska Akademia Nauk, Instytut Geofizyki; Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska; Zakład Geofizyki – Warszawa, Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk (Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences. Monogr., vol. M-27), 79–90.
- [5] Mirek J., 2000: Rozproszony system pomiarowo-interpretacyjny drgań gruntu wzbudzanych wstrząsami górniczymi – projekt. [W:] Materiały Sympozjum „Warsztaty 2000. Zagrożenia naturalne w górnictwie”, E. Pilecka (red.), Kraków, 319–324.
- [6] Mirek J., 2001: SEJS-NET: działający rozległy sejsmometryczny system pomiarowy. [W:] Materiały Sympozjum „Warsztaty 2000 Zagrożenia naturalne w górnictwie”, E. Pilecka (red.), Kraków, 561–568.
- [7] Mirek J. (2005) Strong ground motion monitoring network in the Legnica-Głogów Copper Mining District (Sieć sejsmometryczna na terenie Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego). Acta Geodynamica Et Geomaterialia, vol. 2, no. 3 (139), 145–150.
- [8] Olszewska D., Lasocki S. 2003: Zastosowanie metody HVSR do oceny współczynnika lokalnego wzmocnienia drgań wzbudzonych wstrząsami górniczymi. [W:] Mat. VIII Warsztaty Górnicze „Zagrożenia naturalne w górnictwie”, Pilecka E. (red.), Wyd. JGSMiE PAN, 255–267.
- [9] Olszewska D., Lasocki S. 2004: Application of the horizontal to vertical spectral ratio technique for estimating the site characteristics of ground motion caused by mining induced seismic events. Acta Geophys. Pol, vol.52, no.3, 301–318.

### **Strong ground motion monitoring system on the Polkowice Commune territory**

Some of mining areas are characterized by occurrence of mining tremors induced by exploitation. The Legnica-Głogów Copper District is a territory, where we can observe strong mining tremors, which influence on objects localized on the surface. In 1999 The Polkowice Commune started to measure the vibrations in the city. It turned out that the level of vibration is high enough to be dangerous for surface structures and buildings in the city. This paper describes the strong ground motion monitoring system of the Polkowice Commune, which was formed during last years. In the year 2002 it was installed SEJS-NET system which controls the network. At present the network consists of fourteen receivers localized in the Polkowice, Polkowice Dolne and Tarnówek.

*Przekazano: 31 marca 2006 r.*