

Stan rozwoju aparatów sejsmicznych do zastosowań z zakresu geofizyki górniczej i inżynierskiej

Mgr inż. Jerzy Kłosiński

Treść: W artykule przedstawiono aktualny stan rozwoju aparatów sejsmicznych na rynku światowym mających zastosowanie do zagadnień z zakresu geofizyki górniczej i inżynierskiej. Omówiono podstawowe cechy aparatów, konfiguracje połączeniowe oraz możliwości zastosowania. Następnie zestawiono ze sobą w formie tabelarycznej wybrane podstawowe parametry techniczne systemów celem ich porównania. Przeprowadzono analizę wykorzystania tych systemów do zróżnicowanych zadań geofizyki górniczej oraz inżynierskiej.

1. Wprowadzenie

Metody sejsmiczne po raz pierwszy zostały wykorzystane do rozwiązywania zagadnień górniczych w latach trzydziestych w Stanach Zjednoczonych w kopalniach rud miedzi oraz cynku i ołowiu [1]. Ich celem było określenie prędkości fal sejsmicznych w filarach oporowych i na tej podstawie ocena stopnia ich wyłączenia. W Polsce pierwsze pomiary sejsmiczne w górnictwie podziemnym zostały przeprowadzone przez zespół Akademii Górniczo-Hutniczej w 1945 roku na terenie kopalni Rydułtowy. Celem pomiarów było określenie stanu naprężeń w górotworze. Otrzymane wyniki nie były w pełni zadowalające. Dalsze prace kontynuowano dopiero w latach sześćdziesiątych. Pod koniec lat siedemdziesiątych stało się możliwe wprowadzenie metod sejsmicznych do przemysłowych zastosowań w górnictwie. Wynikało to z faktu, że dostępne aparaty spełniały fizyczne założenia metody- błąd pomiarowy około 5%. Podziemny charakter prac wymagał spełnienia dodatkowych warunków techniczno-funkcyjnych. Większość aparatów, jakie zastosowano w początkowym okresie prac sejsmicznych, była zaadaptowaną wersją sejsmicznych aparatów inżynierskich.

Do podstawowych aparatów sejsmicznych używanych w latach siedemdziesiątych należały aparaty: Pionier - 24-ro kanałowa (produkcji węgierskiej), MD3 - 1 kanałowa (produkcji USA), Terra Scout - 1 kanałowa (produkcji USA), Trio SX12 -12-to kanałowa (produkcji szwedzkiej), Bison 1570B - 1 kanałowa (produkcji USA), Nimbus ES-1980 - 12-to kanałowa (produkcji USA), SEAMEX - 24-ro kanałowa (produkcji niemieckiej).

W latach 1975-1980 została opracowana rodzina sejsmicznych aparatów górniczych typu CS (czasomierz sejsmiczny) w wersji iskrobezpiecznej. W latach osiemdziesiątych podjęto prace w Centrum EMAG nad konstrukcją wielokanałowej aparatury sejsmicznej dla potrzeb górnictwa. Opracowano w rezultacie 12-kanałową aparaturę Pasat-12i w wersji iskrobezpiecznej.

W 1987 roku pojawiła się na rynku szwedzka aparatura Terraloc w wersji 12-to kanałowej, w późniejszym czasie ulepszonej do modelu Terraloc MK6. Od połowy lat osiemdziesiątych nastąpił bardzo szybki rozwój technologii komputerowej co miało bezpośredni wpływ na rozwój aparatów sejsmicznych. Znacznie poprawiono takie parametry jak rozdzielczość, dynamika zapisu, szybkość przetwarzania danych pomiarowych i ich interpretacji oraz inne.

2. Przegląd aparatur sejsmicznych

Poniżej przedstawiono charakterystykę kilku najbardziej rozpowszechnionych sejsmicznych systemów pomiarowych.

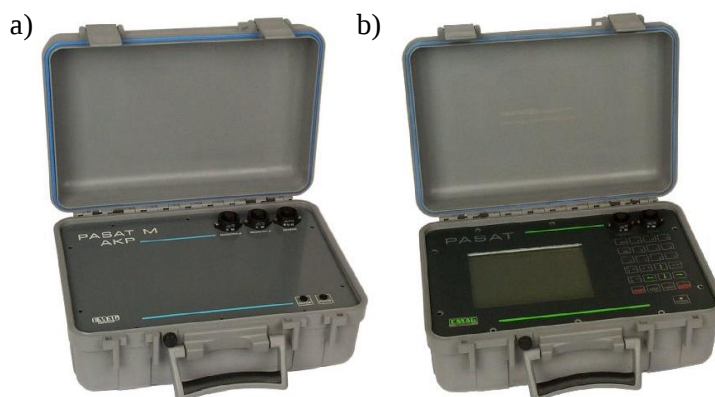
2.1 Pasat M

Aparatura sejsmiczna Pasat M jest urządzeniem wyprodukowanym przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Elektrotechniki i Automatyki Górniczej EMAG w Katowicach. Aparatura ta jest powszechnie stosowana w kopalniach do:

- oceny stanu naprężeń w górotworze na podstawie zależności z prędkością fali sejsmicznej oraz jego zmienności w czasie i przestrzeni,
- wyznaczania nieciągłości geologicznych-pustek, wymyć, uskoków,
- rozpoznania struktury i właściwości ośrodka w zadaniach geoinżynierskich.

Aparatura sejsmiczna posiada funkcję przetwarzania analogowo-cyfrowego sygnałów z geofonów za pomocą autonomicznych koncentratorów pomiarowych (fot. 1a) usytuowanych w pobliżu czujników, wyposażonych w układy do komunikacji cyfrowej z centralną częścią rejestrującą (fot. 1b) poprzez teletechniczną skrętkę, obsługę w centralnej części rejestrującej foliowej klawiatury manipulacyjnej wyposażonej w przyciski umożliwiające załączanie i wyłączanie aparatury oraz wybór odpowiednich funkcji jej pracy, gromadzenie informacji cyfrowej (zarejestrowanych sygnałów) przesyłanych z autonomicznych koncentratorów pomiarowych, w wewnętrznej pamięci DRAM a następnie SRAM centralnej części rejestrującej.

Pasat M jest umieszczony w obudowie pyłoszczelnej i posiada dopuszczenie do pracy w warunkach kopalnianych ze względu na iskrobezpieczne wykonanie.

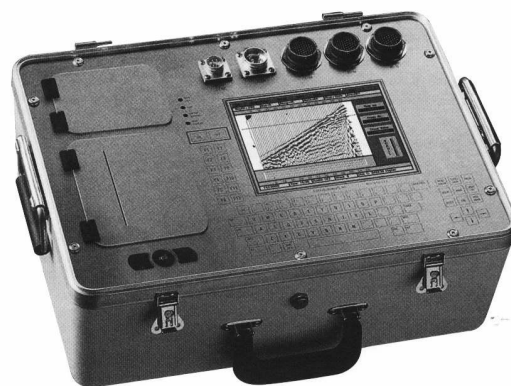


Fot. 1 a) Autonomiczny koncentrator pomiarowy oraz b) Centralna część rejestrująca [2]

2.2 BISON Galileo

Bison Galileo należy do rodziny aparatur produkcji amerykańskiej firmy Bison Instruments Inc. Producent poleca stosowanie aparatury do lokalizacji zbiorników wodnych oraz ich skażeń chemicznych, w badaniach inżynierskich, monitoringu wstrząsów, zagadnieniach górniczych, tunelnictwie oraz do celów edukacyjnych.

Jednostka centralna wyposażona jest w procesor klasy Pentium, zmienną ilość pamięci operacyjnej od 4 do 128 MB, wyświetlacz kolorowy lub monochromatyczny (fot. 2). Dodatkowo posiada on opcje podłączenia zewnętrznej drukarki termicznej, podłączenia do sieci oraz dodatkowego



Fot. 2 Jednostka centralna Bison Galileo [5]

monitora, klawiatury i myszy. W wyposażeniu standardowym występują następujące elementy: jednostka centralna, kabel do startera, kable zasilające oraz stycznik startowy. Dodatkowo zestaw należy uzupełnić kablem geofonowym wraz z zestawem czujników. Aparatura Bison pracuje w zakresie temperatur $0^{\circ} - 50^{\circ} \text{ C}$.

2.3 ABEM Terraloc MK6

Aparatura sejsmiczna Terraloc MK6 jest urządzeniem produkcji szwedzkiej firmy ABEM. Producent wskazuje na zastosowanie aparatury do poszukiwań wód gruntowych, lokalizacji stref uskokowych oraz zadań inżynierskich (projektowanie dróg, mostów, kanałów, rurociągów, linii kolejowych, kontrola stanu zapór). Terraloc MK6 może być wykorzystany do pomiarów sejsmicznych przeprowadzanych metodą refrakcyjną, refleksyjną dwuwymiarową (2D) oraz do pionowych profilowań sejsmicznych.

Firma ABEM oferuje trzy modele rejestratorów sejsmicznych skonstruowanych na bazie komputera klasy Pentium – fot. 3. Poszczególne modele różnią się ilością kanałów: 12, 24 lub 48.

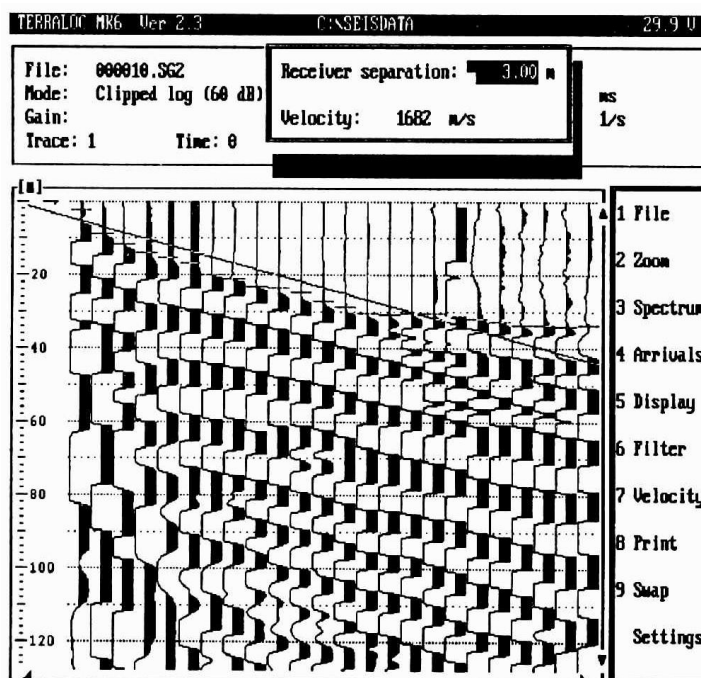
W skład zestawu sejsmicznego wchodzi następujące elementy: 24 kanałowa jednostka centralna Terraloc MK6 (opcjonalnie 12 lub 48 kanałów), kabel geofonowy oraz kabel startera, zestaw czujników sejsmicznych, akumulator 12V.



Fot. 3 Przenośny, wielokanałowy rejestrator sejsmiczny Terraloc MK6 [4]

Dodatkowo w wyposażeniu występuje oprogramowanie służące do zapisu i wstępnego przetwarzania rejestracji pomiarów refrakcyjnych – rys. 1. Za jego pomocą można szybko i skutecznie dokonać wstępnej oceny rejestracji.

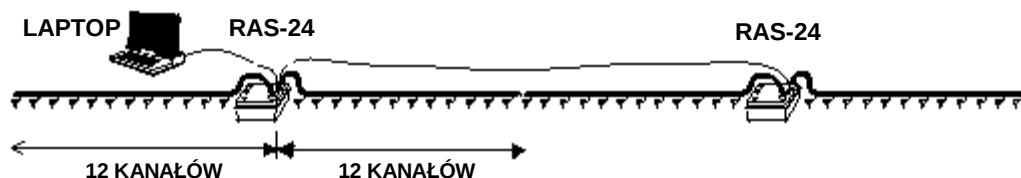
Obudowa rejestratora wykonana z aluminium pozwala na jego stosowanie w trudnych warunkach – jest wodoszczelna i pyłoszczelna. MK6 może pracować w temperaturach od 0° do 50° C .



Rys. 1 Analiza prędkościowa pomiaru refrakcyjnego [4]

2.4 ABEM RAS-24

Sejsmograf RAS-24 jest aparaturą produkcji szwedzkiej firmy ABEM. Aparatura ta przeznaczona jest do: poszukiwań płytko zalegających złóż minerałów, lokalizacji zbiorników wodnych, lokalizacji uskoków oraz określenia stanu podłoża budowlanego. Aparaturą RAS-24 można dokonywać pomiarów metodą refrakcyjną i refleksyjną, pionowych profiliowań sejsmicznych oraz tomografii. RAS-24 jest systemem łatwym do rozbudowy od minimalnej ilości 12-tu kanałów do 240 kanałów rejestrujących (rys. 2).



Rys. 2 Możliwość rozbudowy konfiguracji pomiarowej do 48 kanałów [10]

System pomiarowy składający się z maksimum dziesięciu rejestratorów RAS-24 jest sterowany poprzez przenośny komputer typu laptop. Zwiększenie ilości kanałów rejestrujących poprzez podłączenie dodatkowych rejestratorów RAS-24 jest ułatwione dzięki automatycznej konfiguracji systemu przez laptop.

W skład podstawowego zestawu sejsmicznego wchodzi takie elementy jak: jednostka centralna RAS-24, komputer typu laptop, dwa 12-sto kanałowe kable geofonowe oraz kabel startera, zestaw czujników sejsmicznych, akumulator 12V. RAS-24 może pracować w szerokim zakresie temperatur od $-30^{\circ}\pm 70^{\circ}$ C.

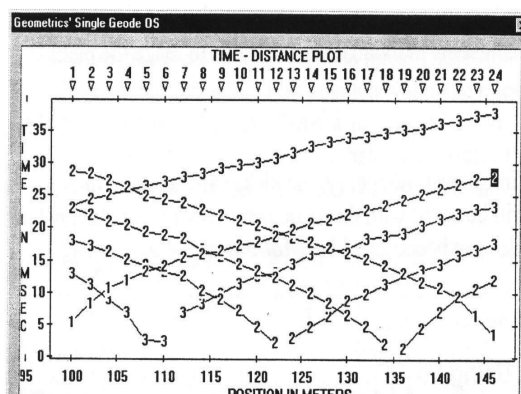
2.5 Geode

Geode jest rejestratorem sejsmicznym produkcji amerykańskiej firmy Geometrics Incorporation. Aparatura ta według producenta może być stosowana do lokalizacji złóż ropy i gazu, badań inżynierskich, lokalizacji stref spękań, ciągłego monitoringu drgań oraz do celów edukacyjnych.

Może on być zastosowany do pomiarów refrakcyjnych, refleksyjnych, pionowych profiliowań sejsmicznych, przeświećlań międzyotworowych. Jego zdolność do ciągłego monitoringu drgań może znaleźć szerokie zastosowanie w pracach związanych z ochroną powierzchni oraz obiektów inżynierskich. Cechuje się budową modułową co pozwala na rozbudowę systemu od 24 do 480 kanałów oraz bardzo niską wagą – 3,5 kg. Podstawowy zestaw sejsmiczny składa się z: 24-ro kanałowego rejestratora sejsmicznego Geode, przenośnego komputera typu laptop lub dodatkowego rejestratora StrataVisor NZ, kabla geofonowego oraz kabla do startera, zestawu czujników sejsmicznych, akumulatora z ładowarką. Każda rejestracja sejsmiczna w postaci cyfrowej automatycznie jest przesyłana z rejestratora do przenośnego komputera (najle-



Fot. 4 Rejestrator Geode wraz z przenośnym komputerem [9]



Rys. 3 Zaznaczenie pierwszych wstępień fali sejsmicznej wraz z oznaczeniem kilku warstw przy użyciu programu SIPQC [11]

piej wodo- i pyłoszczelnego) pracującego w systemie Windows 95/98/NT (fot. 4). Zapis rejestracji na dyskietkach, twardym dysku, płycie CDR można przetransferować do stacji roboczej bezpośrednio poprzez modem lub kartę sieciową. Dodatkowo do zestawu sejsmicznego dostarczany jest pakiet oprogramowania służącego do wstępnej analizy, przetwarzania i interpretacji danych pomiarowych (rys. 3).

Rejestrator Geode może być używany w trudnych warunkach ze względu na jego wodoodporną i pyłoodporną konstrukcję. Jest odporny na zmiany temperatury w granicach od -30° do 75° C, wytrzymały na uderzenia przy spadku z wysokości 1,5 m oraz na wibracje.

Rejestrator Geode stanowi nową generację sejsmicznych systemów pomiarowych ze względu na szybkość i łatwość obsługi, mobilność, małą wagę i wymiary zewnętrzne oraz bardzo dobre parametry techniczne.

2.6 StrataView

StrataView jest rejestratorem sejsmicznym produkcji amerykańskiej firmy Geometrics Incorporation. Rejestrator jest standardowo stosowany do badań inżynierskich, lokalizacji stref spękań oraz podziemnych zbiorników wodnych, badań stabilności podłoża dla zabudowy, monitoringu drgań oraz do celów edukacyjnych. Może on być użyty do pomiarów refrakcyjnych, refleksyjnych, pionowych profilowań sejsmicznych, przeświełań międzyotworowych. Podstawowa jednostka centralna może mieć od 12 to 72 kanałów rejestrujących. W przypadku zaistnienia potrzeby większej ilości kanałów system może być rozbudowany do 600 kanałów. Rejestrator może występować w wersji przenośnej lub stacjonarnej.

Podstawowy zestaw sejsmiczny składa się z: rejestratora sejsmicznego StrataView, kabla geofonowego oraz kabla do startera, zestawu czujników sejsmicznych, akumulatora z ładowarką.

StrataView jest łatwy w obsłudze, posiada wbudowaną drukarkę termiczną oraz wyświetlacz ciekłokrystaliczny. W zastosowaniach morskich może współpracować ze stacjami roboczymi opartymi na bazie komputerów klasy PC w systemie Windows NT. Może pracować w zakresie temperatur od -10° do 40° C.

2.7 Summit

Rejestrator Summit jest rejestratorem sejsmicznym produkcji niemieckiej firmy DMT GmbH. Rejestrator ten może służyć do poszukiwań surowców mineralnych, w tym węgla, ropy i gazu oraz do zastosowań inżynierskich w aspekcie inżynierii środowiska. Może być wykorzystany do pomiarów refrakcyjnych dwuwymiarowych (2D), refleksyjnych dwuwymiarowych 2D lub trójwymiarowych (3D), przeświełań międzyotworowych oraz pionowych profilowań sejsmicznych (PPS).



Podręczny komputer
HHC
(współpraca z GPS)

24-ro kanałowy
rejestrator

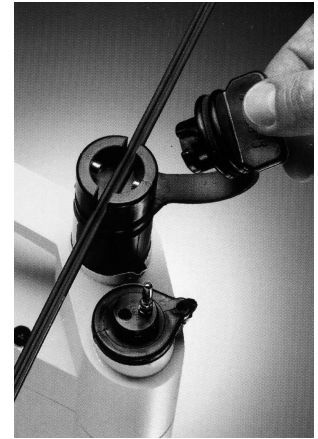
2-kanałowa podsta-
wowa jednostka reje-
strująca

Jednostka pośrednia

Cały układ rejestrujący
wraz z jednostką centralną

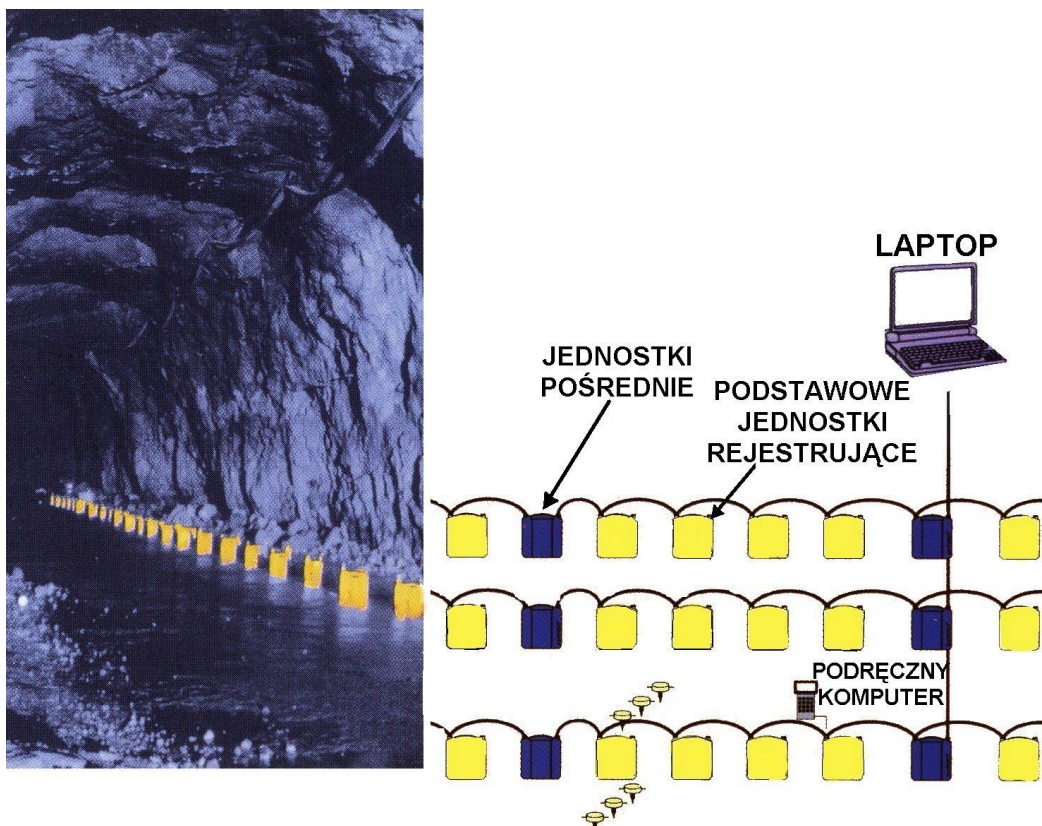
Fot. 5 Elementy składowe systemu Summit [10]

Cały układ rejestrujący składa się z kilku elementów (fot. 5): jednostki centralnej z 24 kanałami lub jednostki obsługującej większą ilość kanałów w postaci przenośnego komputera typu laptop o wzmocnionej obudowie (Ex-Lap Central Station), 2-kanałowych jednostek rejestrujących (Remote Unit), urządzeń służących do rozszerzenia ilości kanałów pomiarowych, wzmocnienia sygnałów oraz przesyłu danych (Repeater Unit), akumulatorów z ładowarką, kabla do przesyłu sygnału wzbudzenia. Dodatkowo sejsmiczny zestaw pomiarowy można wyposażyć w przenośny komputer współpracujący z systemem nawigacji satelitarnej GPS. Podczas pomiaru każda rejestracja jest transferowana do jednostki centralnej z 2-kanałowych podstawowych jednostek rejestrujących (Remote Unit), do których podłączone mogą być różnego typu czujniki sejsmiczne. Każda z tych jednostek posiada wbudowany procesor odciążający pracę głównej jednostki centralnej, co skraca czas pomiędzy kolejnymi rejestracjami. Jednostki te połączone są ze sobą za pomocą kabla o konstrukcji umożliwiającej wielokrotne podłączanie czujników w dowolnym miejscu przewodu bez trwałego uszkodzenia osłony przewodu (fot. 6). Pomiędzy zestawami 2-kanałowych jednostek wpięte są jednostki pośrednie (Repetaer Unit) odpowiedzialne za wzmocnienie, kontrolę linii i przesył danych do centralnej jednostki (rys. 4).



Fot. 6 Sposób łączenia 2-kanałowych podstawowych jednostek rejestrujących [7]

Budowa systemu pozwala na jego stosowanie w bardzo trudnych warunkach górniczych - rys. 4 – jest wodoszczelna, pyłoszczelna, odporna na eksplozje górnicze i może pracować w temperaturach od -30° do 80° C. Cechuje się on budową modułową, co pozwala na rozbudowę systemu od 12 do 1200 kanałów oraz na różne konfiguracje pomiaru.



Rys. 4 Konfiguracja pomiarów 3D – schemat [7]

2.8 System pomiarowy DAS – (ang. Data Acquisition System)

Sejsmiczny system pomiarowy DAS jest urządzeniem produkcji amerykańskiej firmy OYO. Rejestrator ten może być wykorzystywany do zadań inżynierskich oraz poszukiwań ropy i gazu [9]. System DAS przeznaczony jest zarówno do badań na lądzie i na morzu. Jego możliwości techniczne pozwalają na zastosowanie do profilowań refrakcyjnych, pomiarów refleksyjnych o wysokiej rozdzielczości, pionowych profilowań sejsmicznych, prześwieśleń międzyotworowych, wieloskładowych pomiarów otworowych oraz monitoringu emisji akustycznej. Aparatura ta może występować w wersji przenośnej, 24-ro kanałowej (fot. 7) aż do skomplikowany 144-ro kanałowy system pomiarowo - przetwarzający.



Fot. 7 Aparatura DAS [9]

Jednostka centralna posiada wbudowany komputer klasy Pentium, zmienną ilość pamięci operacyjnej (12÷48 MB)-zależną od ilości kanałów, wbudowaną drukarkę termiczną oraz napęd dyskietek 1,44 MB. Dodatkowo posiada wyjścia na zewnętrzny monitor, klawiaturę, mysz i drukarkę.

W skład standardowego zestawu sejsmicznego wchodzi takie elementy jak: jednostka centralna, kable geofonowe oraz kabel startera, zestaw czujników sejsmicznych, akumulator 12V. DAS pracuje w zakresie temperatur 0° - 50 ° C, przy wilgotności od 5÷95%.

3. Analiza parametrów techniczno-funkcjonalnych aparatów sejsmicznych

W tablicy 1 dokonano zbiorczego zestawienia kilku najważniejszych parametrów opisanych rejestratorów. Zostały one wybrane ze względu na ich duży wpływ na proces wykonywania pomiarów, przetwarzania oraz końcowej interpretacji. Uwzględniono również cechy funkcjonalne takie jak odporność na zmienne warunki pomiarowe oraz bezpieczeństwo prowadzenia pomiaru.

Tablica 1. Zestawienie najważniejszych parametrów technicznych omawianych aparatów sejsmicznych

	Galileo Bison-Innovate Transducers Inc. Fort Worth, USA	Geode Geometrics Inc. San Jose, USA	DAS OYO Instruments, Houston, USA	Pasat M Centrum EMAG Katowice	RAS-24 ABEM, Sundbyberg, Sweden	StrataView Geometrics Inc. San Jose, USA	Summit DMT GmbH Essen, Germany	Terraloc MK6 ABEM, Sundbyberg, Sweden
Zakres dynamiki (dB) (systemowa/mierzona)	b.d	144/110	132/108	120/78	112	138/113	120	126/114
Krok próbkowania (ms)	0,05 do 16	0,02 do 16	0,031 do 4	0,1 do 1	0,125 do 4	0,032 do 2	0,03 do 8	0,025 do 2
Ilość kanałów (opcja)	od 12 do 60	od 3 do 24	24	12 (24)	12/24	12 do 72	24	4 do 24 (4 do 48)
Przetwornik A/D	21	24	24	20 (13+7)	24	24	24	21 (18 + 3 IFP)
Długość rekordu (ilość próbek)	b.d.	16000 (opcja 64000)	Max. 80000	8192	max.64 sekund (przy 4 ms)	Do 24000	Do 64000	128 do 16384
Zakres częstotliwości (Hz)	1-4000	1,75 do 20000	3-4000	4-1200	3-3300	3 do 14000	Do 12800	1-4000 (dla próbkowania 0.025)
Format danych (opcja)	b.d.	SEG-2,(SEG-D, SEG-Y)	SEG-1, SEG-2, SEG-D	SEG-1	SEG-2, SEG-D,	SEG-2, ,(SEG-D, SEG-Y)	b.d.	SEG-2,
Zasilanie	12 V	12V	12 V	12 V	12 V	12 V	12 V	10 do 30 V
Waga [kg]	10-14	3,6	10,9	Część centralna – 5 kg, autonomiczny koncentrator pomiarowy – 3 kg	b.d.	b.d.	2,9 każda jednostka	16
Wymiary: S/G/W [cm]	51,8/37,6/21,5	27,3/17,5/25	34,3/35,6/23	b.d.	34/27/15	b.d.	21/22/7 każda jednostka	33/48/26
Odporność na warunki atmosferyczne	Temp. pracy: od 0°÷50°,	Wodoszczelny, pyłoszczelny, wzmocniona obudowa, Temp. pracy:-30°÷75°,	Wodoszczelny, Temp. pracy: 0°÷50°,	Pyłoszczelny, iskrobezpieczny,	Temp. pracy: od - 30°÷70° C,	Temp. Pracy:+5°÷40°,	Wodoszczelny, wzmocniona obudowa	Temp. Pracy: 0°÷50°,

b.d. – brak danych, S - szerokość, W - wysokość, G - głębokość

Z zestawienia w tablicy 1 wynika, że większość aparatów posiada wysoką dynamikę zapisu sygnału – powyżej 108 dB. Ma to istotne znaczenie w przypadku pomiarów sejsmicznych w ośrodkach charakteryzujących się dużym tłumieniem fal sejsmicznych. W przypadku pomiarów w ośrodkach warstwowych o małych miąższościach szczególne znaczenie ma krok próbkowania – im mniejszy tym cieńsze warstwy można zarejestrować. Dla szerokiego zakresu częstotliwościowego można badać wiele zjawisk od niskoczęstotliwościowych drgań gruntu, wstrząsów górniczych do wysokoczęstotliwościowej tomografii sejsmicznej w pokładach węgla. Aktualnie standardem jest zakres częstotliwości od kilku Hz do kilkunastu kHz. Ilość kanałów pomiarowych oraz możliwość ich poszerzenia ma znaczenie dla pomiarów wykonywanych na dużych obszarach oraz dla pomiarów trójwymiarowych. Konstrukcje modułowe takie jak Geode lub Summit bardzo dobrze sprawdzają się w warunkach o zmiennej geometrii pomiaru. Istotny jest również format, w jakim zapisywane są dane polowe oraz możliwość jego konwersji do formatu rozpoznawalnego dla przetwarzających stacji roboczych. W trudnych warunkach górniczych i atmosferycznych liczy się odporność aparatury na uszkodzenia zewnętrzne takie jak uderzenia, spadek z wysokości, zalanie wodą, zapylenie oraz spełnianie przez nią norm iskrobezpieczeństwa.

4. Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono krótką charakterystykę wybranych aparatów sejsmicznych przeznaczonych do zadań geofizyki górniczej i inżynierskiej powszechnie stosowanych w Polsce i na świecie. Rozwój badań za pomocą metody sejsmicznej w dużym stopniu zależy od poziomu technicznego sprzętu pomiarowego, a w zwłaszcza jego zakresu dynamicznego i częstotliwościowego [2] dlatego też w artykule wskazano na zastosowania poszczególnych aparatów, metodykę pomiarową, rodzaj konstrukcji, najważniejsze parametry techniczne a także cechy funkcjonalne rejestratorów mające znaczenie podczas pomiarów. Istotnym krokiem w poprawie jakości interpretacji zapisu pola falowego może się stać wykorzystanie w szerszym zakresie procedur przetwarzających takich jak migracja, dekonwolucja analiza atrybutów sejsmicznych, stosowanych w „dużej sejsmice”[2]. Dokonana analiza parametrów rejestratorów pozwala określić przydatność do konkretnych zadań geofizycznych. Do celów badawczych z zakresu geofizyki górniczej i inżynierskiej najkorzystniej prezentuje się niemiecka aparatura SUMMIT. Niestety, jej koszt, nieraz kilkakrotnie przewyższający pozostałe aparaty, jest poważną barierą w jej szerszym wykorzystaniu. Na uwagę zasługują natomiast aparaty MK6, Geode, StrataView biorąc pod uwagę jakość aparatury i jej cenę. W przypadku pomiarów w trudnych warunkach górniczo-geologicznych (kopalnie, tunele, kawerny,) przydatne mogą być Geode lub Summit ze względu na ich bardzo dobre konstrukcyjne przystosowanie. W przypadku pomiarów inżynierskich wykonywanych w otwartym terenie można stosować każdą z omówionych aparatów dokonując wyboru w zależności od zadania i stopnia dokładności.

5. Literatura

- [1] *Dubiński J.*: Metody sejsmiczne w górnictwie - techniki pomiarowe i interpretacyjne. Badania geofizyczne w kopalniach – przeszłość, teraźniejszość i zamierzenia na przyszłość, Kraków 2001, (w przygotowaniu).
- [2] *Isakow Z.*: Centrum Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG, *Cianciara B.* Akademia Górniczo Hutnicza Mat. Konferencyjne MiAG 2000.
- [3] *Pilecki Z.*: Wyznaczanie właściwości mechanicznych górotworu za pomocą metody sejsmicznej. Badania geofizyczne w kopalniach – przeszłość, teraźniejszość i zamierzenia na przyszłość, Kraków 2001.
- [4] Materiały reklamowe firmy ABEM Instrument AB – pt. Terraloc MK6: Portable multi-channel seismograph for refraction & reflection surveys.
- [5] Materiały reklamowe firmy Bison Instruments Inc. 1995.
- [6] Materiały reklamowe firmy Centrum EMAG. Katowice.
- [7] Materiały reklamowe firmy DMT GmbH.
- [8] Materiały reklamowe firmy Geometrics Inc.
- [9] Materiały reklamowe firmy OYO Instruments
- [10] Strony internetowe producentów aparatur: www.abem.se, www.dmt.de, www.oyo.com, www.geometrics.com,
- [11] Geometrics: Geode™ and StrataVisor™ Operations Manual P/N 28519-01 Rev C.