



Zbigniew ISAKOW*, Kazimierz SICIŃSKI**, Przemysław SIERODZKI**

Innowacyjne rozwiązania w akwizycji danych pomiarowych w strimerze Seismobile

Streszczenie: W pracy przedstawiono budowę, sposób działania oraz dane techniczne nowatorskiego rozproszonego strimera Seismobile. Istotną rolę w strimerze Seismobile odgrywa sposób akwizycji danych pomiarowych, który decyduje o jego sprawności.

Konstrukcja strimera Seismobile umożliwia szybki montaż i demontaż jego elementów. Szybki montaż modułów pomiarowych umożliwia mocowanie magnetyczne. Moduły są automatycznie numerowane i lokalizowane przed każdym pomiarem. W strimerze moduły pomiarowe są bezpiecznie transportowane w stacji dokującej.

Konstrukcja zestawu pomiarowego, składającego się z czujnika zamontowanego na metalowej podstawie, zapewnia możliwie jak najlepsze (w sensie widma częstotliwości, niewielkiego tłumienia amplitud i minimalizacji rezonansów mechanicznych) przekazywanie drgań z podłoża gruntowego. Niskie położenie środka ciężkości zestawu pomiarowego zapewnia wystarczającą jego stateczność przy przemieszczaniu się strimera. Mobilny wzбудnik drgań pozwala w sposób bezprzewodowy wzbudzać sygnał i w sposób automatyczny przekazywać dane o czasie udaru i jego lokalizacji.

Bezpośredni zapis cyfrowy rejestracji w wewnętrznej pamięci Flash modułów pomiarowych oraz duża dynamika przetwarzania A/C zapewniają wysokiej jakości dane. Szczytywanie bezprzewodowe zarejestrowanych danych w pamięciach Flash modułów pomiarowych i modułu wzbudnika w czasie ładowania akumulatorów w stacji dokującej po zakończeniu sesji pomiarowej zapewnia niezawodne archiwizowanie danych.

Innowacyjne cechy strimera Seismobile eliminują większość niedogodności dotychczasowych strimerów w zakresie akwizycji danych pomiarowych.

Słowa kluczowe: strimer sejsmiczny Seismobile, bezprzewodowa akwizycja danych, pojazd holujący, mobilny układ pomiarowy, mobilny kafar

Innovative solutions for data acquisition in Seismobile landstreamer

Abstract: The paper presents the construction, mode of operation and technical specifications of a novel, distributed Seismobile landstreamer. The manner of data acquisition, which decides about its efficiency plays an important role in the Seismobile streamer.

* Dr inż., prof. ITI EMAG, ** Mgr inż., Instytut Techniki Innowacyjnych EMAG, Katowice; e-mail: Zbigniew.Isakow@ibemag.pl

The Seismobile streamer design allows for quick assembly and disassembly of its components. The universal measuring modules applied in the streamer can be safely transported in the docking station. Quick installation of the measurement modules is possible by the use of magnetic fastening. The modules are automatically numbered and localized before each measurement session.

The construction of the measuring set, consisting of a sensor mounted on a metal base, ensures the best possible (in the sense of frequency spectrum, small damping of amplitude and minimized mechanical resonances) transmission of vibrations from the subsoil. The low center of gravity of the measurement kit provides enough of its stability when moving the streamer. The mobile weight drop source of seismic vibrations can wirelessly excite the signal and automatically transmit data about the time of stroke and its location.

Direct digital recording in the internal Flash memory of measurement modules and high dynamics of A/D processing provide high quality data. The wireless read-out of data recorded in the Flash memory of the measuring modules and in the MPWA module carried out after a measuring session has finished and while charging the battery in the docking station, provide reliable documenting of the measurement session.

Innovative features of the Seismobile landstreamer eliminate most of the disadvantages of prior used streamers in reference to the data acquisition.

Keywords: Seismobile landstreamer, wireless data acquisition, towing vehicle, mobile measurement module, mobile weight drop seismic source

Wprowadzenie

System Seismobile jest przeznaczony do diagnostyki podłoża gruntowego projektowanych i modernizowanych szlaków komunikacyjnych – dróg, linii kolejowych, pasów startowych na lotniskach itp. (Kubańska i in. 2016). System ten składa się z części sejsmicznej tzw. strimera sejsmicznego oraz z części georadarowej z wykorzystaniem dowolnego rodzaju anten (Pilecki i in. 2016a). Strimer sejsmiczny bazuje na metodzie sejsmicznej w wersji profilowania refrakcyjnego, refleksyjnego lub MASW. Według posiadanej wiedzy autorów, nie jest znany system, który łączyłby mobilne możliwości pomiaru sejsmicznego i georadarowego.

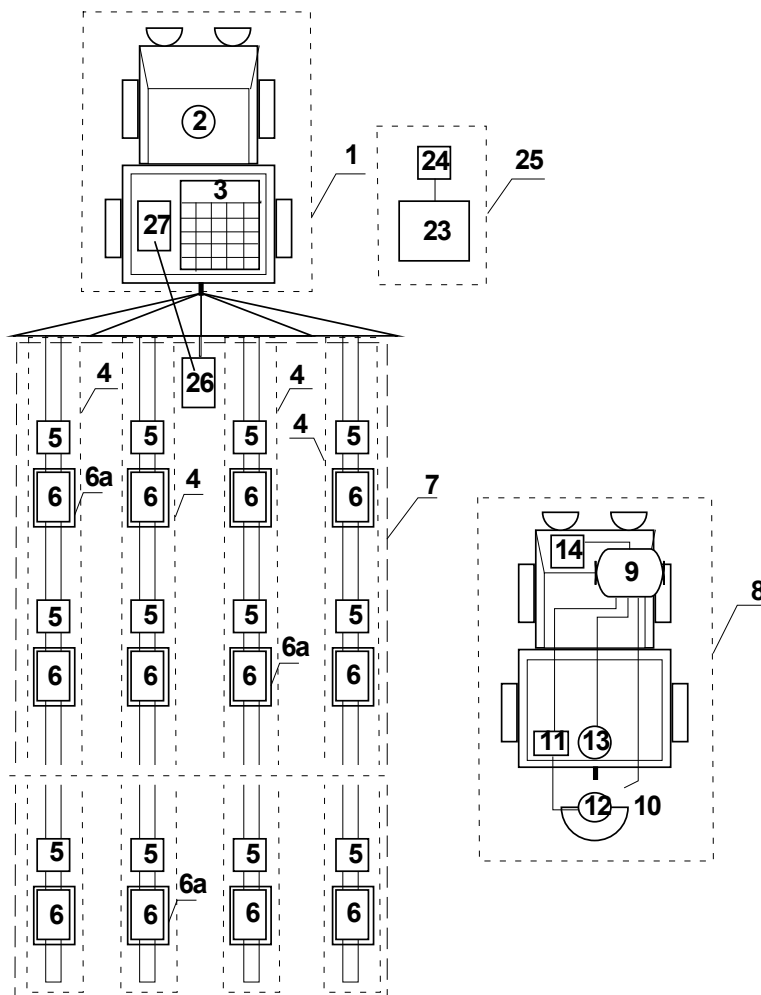
Znane i stosowane dotychczas sposoby akwizycji danych pomiarowych w strimerach sejsmicznych bazują na układzie czujników sejsmicznych np. geofonów lub akcelerometrów mocowanych na specjalnych taśmach przystosowanych do ciągnięcia po powierzchni terenu przez pojazd holujący (Pugin i in. 2004; O'Neill i in. 2006; Link i Goldberg 2011; Pilecki i in. 2014b; Brodic i in. 2015). Układ czujników w strimerach sejsmicznych najczęściej połączony jest przewodowo z wielokanałowymi rejestratorami przewożonymi na holującym samochodzie. Jeden z kanałów używany jest zazwyczaj do synchronicznej rejestracji czasu wzbudzenia w wyznaczonych punktach. Wymaga to prowadzenia niezależnego kabla do wzbudnika wyposażonego w stycznik bezwładnościowy lub akcelerometr, co przy mobilności wzbudnika wiąże się z ciągłą zmianą długości kabla i zagrożeniem przypadkowego jego uszkodzenia. Stosowanie większej liczby np. 100 czujników z wykorzystaniem transmisji analogowej utrudnia uzyskanie dużej dynamiki rejestracji głównie ze względu na możliwe zakłócenia elektromagnetyczne mocno ograniczające prawidłową akwizycję danych pomiarowych przy rejestracji słabych sygnałów sejsmicznych. Połączenia kablowe narażone są na uszkodzenia, a stosowana aparatura rejestrująca wymaga każdorazowo czasochłonnego podłączania kabli. Ze względu na połączenia kablowe zmiana odległości pomiędzy czujnikami jest utrudniona, a często nawet niemożliwa do realizacji.

W pracy omówiono innowacyjne rozwiązania sprzętowe, które usprawniają posługiwanie się strimerem Seimobile. Wyeliminowano wiele dotychczasowych niedogodności, wy-

korzystając najnowsze znane obecnie technologie w zakresie telekomunikacji i akwizycji danych pomiarowych.

1. Podstawowe elementy akwizycji danych pomiarowych w systemie Seismobile

W skład podstawowych elementów systemu Seismobile wchodzi następujące elementy (rys. 1): pojazd holujący 1, mobilny układ pomiarowy 7, mobilny wzбудnik 8, antena georadaru 26 z jednostką sterującą 27 oraz bazy danych pomiarowych 25 zlokalizowanej w miejscu bazy pomiarowej.



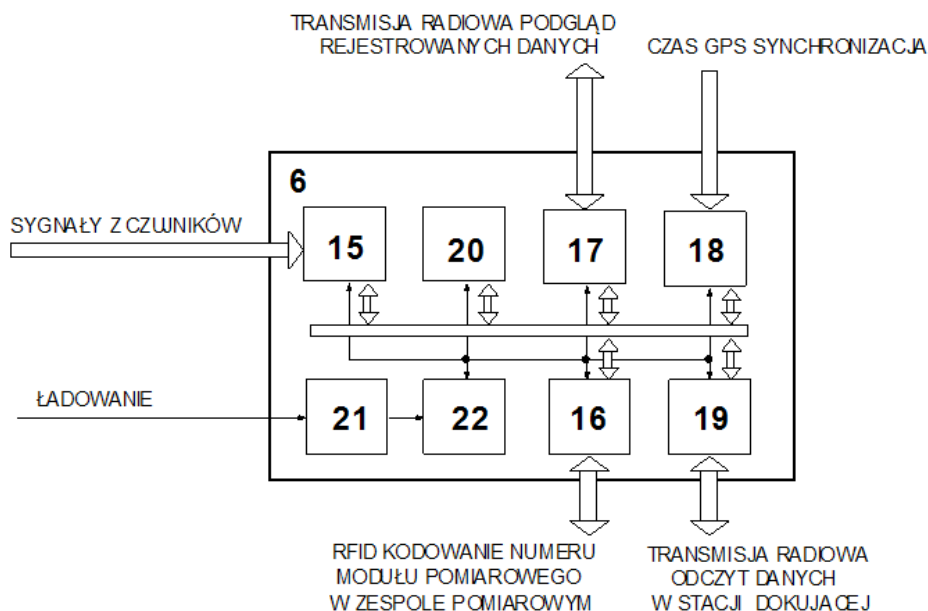
Rys. 1. Podstawowe elementy systemu Seismobile (objaśnienia w tekście)

Fig. 1. Basic components of the Seismobile system (description in text)

Pojazd holujący 1 posiada odbiornik GPS 2 oraz stację dokującą 3, zaś mobilny układ pomiarowy 7 składa się z 24 zestawów pomiarowych umieszczonych wzdłuż 4 linii pomiarowych. Liczba linii pomiarowych może być mniejsza w zależności od rodzaju zadania badawczego. Każdy zestaw pomiarowy posiada czujnik drgań 5, zwykle geofon jedno- lub trójściłkowy mocowany na metalowej podstawie (Pilecki i in. 2014a, 2016b). Każdy czujnik podłączony jest do autonomicznego modułu pomiarowego 6 instalowanego na podstawie mocującej 6a. Modułowi pomiarowemu RFID przyporządkowana jest etykieta z zakodowanym numerem stałym umożliwiającym określenie położenia modułu 6 i wiążącym go jednoznacznie z numerem czujnika 5.

Mobilny wzbudnik 8 posiada jednostkę centralną 9 połączoną z kafarem sejsmicznym 10, modułem pomiarowym 11, odbiornikiem GPS 13, modem transmisji radiowej 14 oraz czujnikiem akcelerometrycznym 12 przymocowanym do kufaru. Moduł pomiarowy 11 podobnie jak autonomiczne moduły pomiarowe 6 posiada własny mikroprocesor oraz bufor pamięci.

Każdy z wchodzących w skład układu pomiarowego 7 autonomicznych modułów pomiarowych 6 zawiera (rys. 2): wzmacniacz i konwerter 15 połączony przewodowo z odpowiadającym mu czujnikiem drgań 5 zestawu pomiarowego, moduł identyfikacji radiowej RFID 16 generujący pole magnetyczne, w którym odczytuje numer zakodowany w karcie RFID umieszczonej w podstawie do mocowania modułu pomiarowego 6, modem transmisji radiowej 17 połączony bezprzewodowo z modemem transmisji radiowej 14 jednostki centralnej 9 mobilnego wzbudnika 8, odbiornik GPS 18, moduł pamięci Flash 19 połączony bezprzewodowo za pośrednictwem modułu WI-FI 24 z ser-



Rys. 2. Schemat blokowy autonomicznego modułu pomiarowego 6

Fig. 2. A block diagram of measurement module 6

werem 23 bazy danych pomiarowych 25, akumulator zasilający 21 oraz przetwornicę zasilającą 22. Moduł 6 zawiera również mikroprocesor 20 sterujący działaniem jego elementów składowych.

2. Charakterystyka elementów strimera Seismobile

Pomiar strimerem Seismobile można prowadzić z użyciem od 1 do 4 linii pomiarowych (Kubańska i in. 2016). Linie pomiarowe mogą znajdować się w odległości do 3,5 m od siebie. W ten sposób uzyskuje się różny przestrzenny zasięg penetracji badanego podłoża. Na fotografii 1 przedstawiono widok samochodu terenowego holującego strimer w dwóch wariantach rozstawu pomiarowego o szerokości 3,5 m z użyciem dwóch linii pomiarowych i zwiększonej do 10,5 m z użyciem 4 linii pomiarowych. Na fotografii 2 przedstawiono przykładowy montaż jednej linii pomiarowej: rozwijanie taśmy z bębna transportowego z zestawami pomiarowymi szybka instalacja czujników typu PS10-ES 1D i modułów pomiarowych.

Fotografia 3 przedstawia strimer Seismobile z dwoma liniami pomiarowymi odległymi od siebie o 1,5 m, z których każdy wyposażony został w 24 zestawy pomiarowe wraz z autonomicznymi modułami pomiarowymi. W skład każdego zestawu pomiarowego wchodziły 24 geofony pionowe typu GS-11D. Natomiast na fotografii 4 przedstawiono zdjęcie elektroniki modułu pomiarowego (MP) 6, a na rysunku 3 jego schemat blokowy.



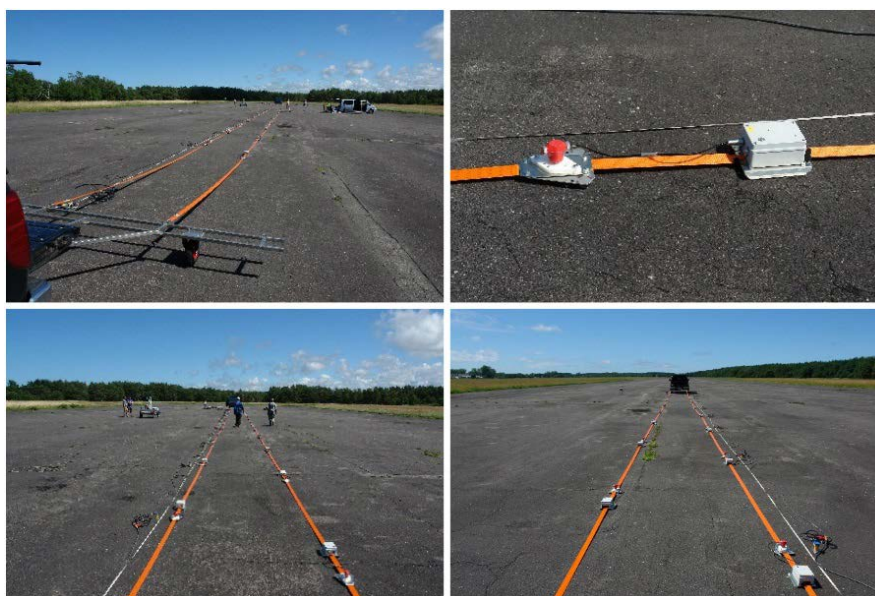
Fot. 1. Widok samochodu terenowego z ramą do holowania w wariantach 2 i 4 linii pomiarowych

Phot. 1. A view of an SUV vehicle with a frame of 2 and 4 measuring line variants



Fot. 2. Przykładowy montaż linii pomiarowej: rozwijanie taśmy z bębna transportowego z zestawami pomiarowymi

Phot. 2. An example of the installation of measuring line with measuring sets



Fot. 3. Przykład pomiaru strimerem Seismobile z dwoma liniami pomiarowymi

Phot. 3. An example of measurement with 2-measuring lines of Seismobile landstreamer



Fot. 4. Widok elektroniki modułu pomiarowego MP

Phot. 4. A view of the MP measurement module – electronic part

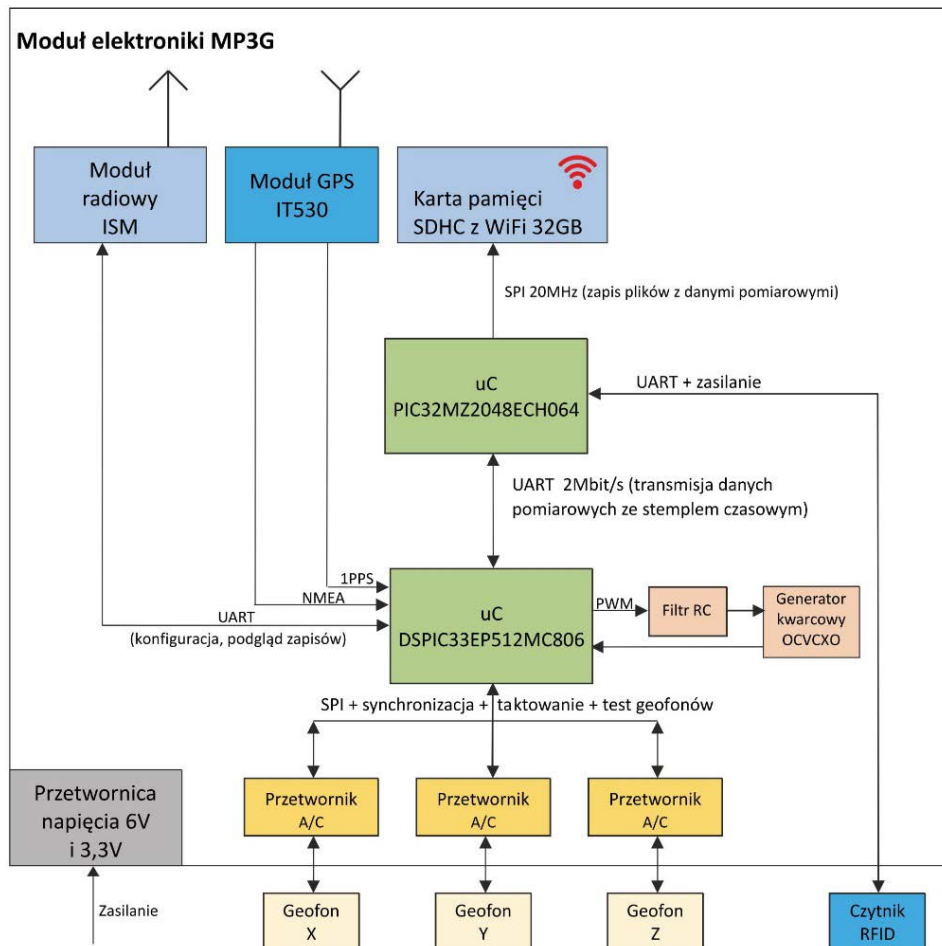
Dane techniczne modułu pomiarowego zamieszczono w tabeli 1. Natomiast na rysunku 4 zamieszczono schemat blokowy modułu pomiarowego MPWA 11 mobilnego wzбудnika, a w tabeli 2 jego dane techniczne.

W strimerze Seismobile zalecane jest użycie 10 Hz geofonów pionowych (fot. 5). W tabeli 3 zamieszczono dane techniczne stosowanych w systemie czujników. Na fotografii 6 przedstawiono mobilny wzbudnik strimera Seismobile podczas transportu. Wzбудnik ten składa się z kafaru zamontowanego na haku mini-auta Mule 4010x4 Trans Diesel firmy Kawasaki.

2. Sposób pomiaru strimerem Seismobile

Akwizycja danych pomiarowych odbywa się w kilku fazach:

- Po rozciągnięciu linii pomiarowych, moduły pomiarowe 6 są instalowane na stałych podstawach z etykietami RFID. Zakodowane numery tych etykiet są przypisane na czas sesji pomiarowej. Numery te jednoznacznie określają położenie czujników 5.
- Z polecenia operatora mobilnego wzbudnika 8, drogą transmisji radiowej poprzez moduł sterujący 9 i modem transmisji radiowej 14, następuje uaktywnienie modułów pomiarowych 6. Deklaruje się wzmocnienia w poszczególnych kanałach pomiarowych, czas pomiaru, częstotliwość próbkowania oraz liczbę składowych uderów.



Rys. 3. Schemat blokowy elektroniki MP3G modułu pomiarowego

Fig. 3. A block diagram of the MP measurement module – electronic part

- Sprawdza się poprawność synchronizacji czasu rejestracji układu pomiarowego wzbudnika 11, modułów pomiarowych 6 i gotowości całego układu pomiarowego w sposób automatyczny drogą radiową poprzez modem 14.
- Z polecenia operatora jednostki centralnej 9, drogą radiową za pośrednictwem modemu 14 uruchamiany jest strimer w oczekiwaniu na sygnał wywołany udarem kafaru na mobilnym wzbudniku. W wyniku udaru zachodzi synchroniczne próbkowanie w modułach pomiarowych 6 rejestrowanych sygnałów przez czujniki drgań 5. Moment udaru jest rejestrowany w module pomiarowym 11 wzbudnika za pomocą czujnika akcelerometrycznego 12. Zapis danych pomiarowych następuje w wewnętrznych buforach pamięci modułów 6 i 11. Miejsce udaru określone jest za pomocą odbiornika GPS 13.

TABELA 1. Dane techniczne modułu pomiarowego

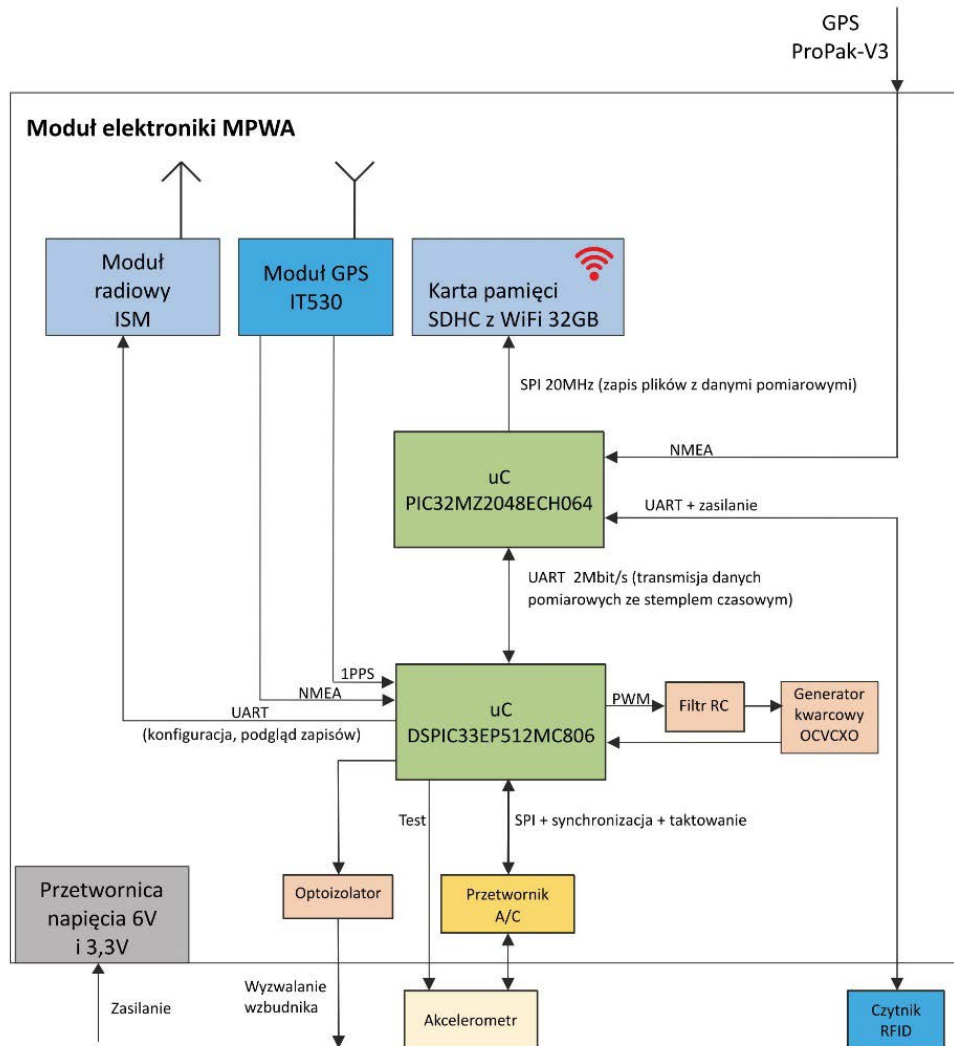
TABLE 1. Technical data of the measuring module

Parametr	Wartość
Źródło zasilania	wewnętrzny akumulator LiFePO4 6V/4Ah lub zasilanie zewnętrzne z zasilacza
Napięcie ładowania/zasilania	od 8 V do 15 V
Pobór prądu z zewnętrznego zasilacza	– ładowanie: 2A@12V – normalna praca 120mA@12V
Czas ładowania wewnętrznego akumulatora	1 h 40 min
Maksymalny pobór mocy z akumulatora	1,2W
Liczba kanałów pomiarowych	3 oddzielne tory pomiarowe
Pasma przenoszonych częstotliwości (bez sondy)	pasmo przenoszonych częstotliwości ograniczone przez filtr antyaliasyjny: – Tryb 250Hz – 0–103,25 Hz, – Tryb 500Hz – 0–206,5 Hz, – Tryb 1kHz – 0–413,0 Hz, – Tryb 2kHz – 0–826,0 Hz, – Tryb 4kHz – 0–1652 Hz.
Konfigurowalny filtr górnoprzepustowy	od 0,1 Hz do 1 Hz lub możliwość wyłączenia
Rozdzielczość przetwornika A/C	32 bity
Dynamika przetwarzania (całkowity SNR)	130 dB @250Hz
Częstotliwości próbkowania	250 Hz, 1 kHz, 2 kHz, lub 4 kHz
Regulowane wzmocnienie	x2, x4, x8, x16, x32, x64, x128
Bufor Pre-triggera	256 kB
Pamięć do zapisu danych pomiarowych	karta SDHC 32GB WiFi
Dokładność synchronizacji czasu pomiędzy modułami	1 μs
Maksymalny zasięg transmisji bezprzewodowej 2,4 GHz	około 150 m w obszarze niezabudowanym
Transmisja danych pomiarowych	w postaci plików binarnych poprzez WiFi
Moduł GPS	u-blox IT530

- Po zarejestrowaniu sygnału, z modułu pomiarowego 11 wysyłane jest polecenie zakończenia pomiaru drogą radiową do wszystkich modułów 6. Jednocześnie z modułu pomiarowego wzбудnika 11 radiową przesyłany jest do modułów 6 czas odpowiadający chwili wzbudzenia fali.
- Zarejestrowane cyfrowo próbki sygnałów przesyłane są drogą radiową z buforów pamięci modułów pomiarowych 6 do jednostki centralnej 9 i tam wizualizowane w postaci podglądu zapisów. Zapisy podlegają weryfikacji przez operatora, który decyduje o poprawności pomiaru.

W przypadku wykonywania pomiarów bez składania zapisów:

- po akceptacji przez operatora - zapis z bufora cyklicznego w każdym module 6 jest automatycznie oznaczony, jako plik danych rejestracyjnych i przepisywany do modułu pamięci Flash 19,



Rys. 4. Schemat blokowy modułu pomiarowego MPWA 11 mobilnego wzbudnika

Fig. 4. A block diagram of the measuring module of the mobile weight drop seismic source

→ bez akceptacji operatora wynik rejestracji jest usuwany automatycznie z pamięci modułów 6, a pomiar należy powtórzyć.

W przypadku wykonywania pomiarów ze składaniem zapisów:

→ po akceptacji przez operatora zapis z bufora cyklicznego, jako składnik sumy pomiarów jest odpowiednio oznaczony i przepisywany do modułów pamięci Flash w modułach pomiarowych 6, po czym pomiar jest inicjowany ze wzbudzeniem sygnału w tym samym miejscu, jako kolejny składnik sumy aż do osiągnięcia zadanej liczby uderów.

TABELA 2. Dane techniczne modułu pomiarowego MPWA 11

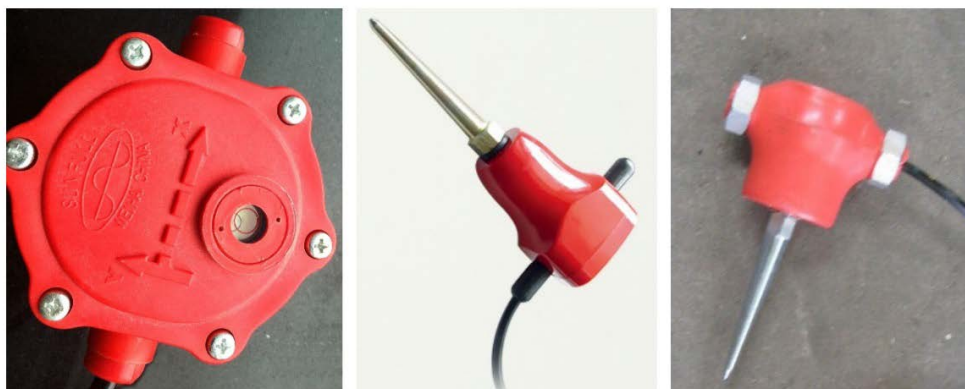
TABLE 2. Technical data of the measuring module of the mobile weight drop seismic source

Parametr	Wartość
Źródło zasilania	wewnętrzny akumulator LiFePO4 6V/4Ah lub zasilanie zewnętrzne z zasilacza
Napięcie ładowania/zasilania	od 8 V do 15 V
Pobór prądu z zewnętrznego zasilacza	– ładowanie: 2A@12V – normalna praca 120mA@12V
Czas ładowania wewnętrznego akumulatora	1 h 40 min
Maksymalny pobór mocy z akumulatora	1,2 W
Liczba kanałów pomiarowych	1 wejście pomiarowe dla akcelerometru
Wyjścia cyfrowe	1 wejście cyfrowe z optoizolacją do wyzwolenia wzbudnika
Pasma przenoszonych częstotliwości (bez sondy)	pasmo przenoszonych częstotliwości ograniczone przez filtr antyaliasyjny: – Tryb 250Hz – 0–103,25Hz, – Tryb 500Hz – 0–206,5Hz, – Tryb 1kHz – 0–413,0Hz, – Tryb 2kHz – 0–826,0Hz, – Tryb 4kHz – 0–1652Hz.
Konfigurowalny filtr górnoprzepustowy	Od 0,1 Hz do 1 Hz lub możliwość wyłączenia
Rozdzielczość przetwornika A/C	32 bity
Dynamika przetwarzania (całkowity SNR)	130 dB @250Hz
Częstotliwości próbkowania	250 Hz, 1 kHz, 2 kHz, lub 4 kHz
Regulowane wzmocnienie	x2, x4, x8, x16, x32, x64, x128
Bufor Pre-triggera	256 kB
Pamięć do zapisu danych pomiarowych	Karta SDHC 32GB WiFi
Dokładność synchronizacji czasu pomiędzy modułami	1 μs
Maksymalny zasięg transmisji bezprzewodowej 2,4 GHz	około 150 m w obszarze niezabudowanym
Transmisja danych pomiarowych	w postaci plików binarnych poprzez WiFi
Moduł GPS	u-blox IT530
Moduł GPS do określenia lokalizacji z dokładnością poniżej 1 cm.	wejście do podłączenia GPS'a ProPak-V3
Liczba współpracujących modułów MP3G	Do 100

- bez akceptacji operatora wynik rejestracji jest usuwany automatycznie z pamięci modułów 6, a pomiar jest powtarzany.

Po zakończeniu sesji pomiarowej w konkretnym miejscu strimer przemieszcza się przy pomocy pojazdu holującego w kolejne zaprojektowane położenie, określone współrzędnymi mierzonymi za pomocą GPS.

Po zakończeniu sesji pomiarowej zdemontowane moduły pomiarowe czujników 6 i wzbudnika 11 są umieszczane w gniazdach stacji dokującej 3, w której są automatycznie ładowane ich akumulatory. Równocześnie dane z pamięci Flash modułów 6 są czytywane



Fot. 5. Geofony trójskładowe (z lewej) i jednoskładowe (środek i z prawej strony) o częstotliwości 10 Hz
 Phot. 5. Three component 10 Hz geophones (left side) and one component 10 Hz geophones (middle and left side)

TABELA 3. Dane techniczne zalecanych 10 Hz geofonów
 TABLE 3. Technical data of recommended 10 Hz geophones

Czujnik	Typ	Częstotliwość rezonansowa f [Hz]	Czułość V/m/s	Masa [g]	Oporność cewki [Ω]	Producent
1	GS-11D	10Hz \pm 0,75	32	16,8	380	GeoSpace USA
2	PS10-ES 1D	10Hz \pm 0,25	20,9	11	375	SunFull CHRL
3	PS10-ES 3D	10Hz \pm 0,25	20,9	3 x 11	375	SunFull CHRL

do serwera bazy danych pomiarowych 23 drogą transmisji radiowej Wi Fi. Odczytane dane pomiarowe w odpowiednim formacie są przetwarzane i interpretowane za pomocą ogólnie dostępnego specjalistycznego oprogramowania.

Podsumowanie

Do podstawowych elementów systemu Seismobile należą pojazd holujący, zestawy pomiarowe przymocowane do taśmy, mobilny kofar, antena georadaru z jednostką sterującą oraz urządzenie do archiwizacji danych pomiarowych. W części sejsmicznej tzw. strimera Seismobile zastosowano wiele innowacyjnych rozwiązań poprawiających akwizycje danych w porównaniu do obecnych, znanych tego typu urządzeń.

Konstrukcja strimera Seismobile umożliwia szybki montaż i demontaż jego elementów. W strimerze zostały zastosowane uniwersalne moduły pomiarowe bezpiecznie transporto-



Fot. 6. Mobilny wzbudnik strimera Seismobile podczas transportu

Phot. 6. Mobile weight drop of Seismobile landstreamer during transport

wane w stacji dokującej. Szybki montaż modułów pomiarowych umożliwia mocowanie magnetyczne. Moduły są automatycznie numerowane i lokalizowane przed każdym pomiarem.

Konstrukcja zestawu pomiarowego, składającego się z czujnika zamontowanego na metalowej podstawie, zapewnia możliwie jak najlepsze (w sensie widma częstotliwości, niewielkiego tłumienia amplitud i minimalizacji rezonansów mechanicznych) przekazywanie drgań z podłoża gruntowego. Niskie położenie środka ciężkości zestawu pomiarowego zapewnia wystarczającą jego stateczność przy przemieszczaniu się strimera.

Mobilny wzbudnik drgań pozwala w sposób bezprzewodowy wzbudzać sygnał i w sposób automatyczny przekazywać dane o czasie udaru i jego lokalizacji.

Bezpośredni zapis cyfrowy rejestracji w wewnętrznej pamięci Flash modułów pomiarowych oraz duża dynamika przetwarzania A/C zapewniają wysokiej jakości dane, niezakłócone zewnętrznym wpływem pól magnetycznych. Bezprzewodowy podgląd zapisów podczas wykonywania pomiarów umożliwia szybką ocenę poprawności pomiarów.

Szczytywanie bezprzewodowe zarejestrowanych danych w pamięciach Flash modułów pomiarowych i modułu wzbudnika po zakończeniu sesji pomiarowej w czasie ładowania akumulatorów w stacji dokującej zapewnia niezawodne archiwizowanie danych.

Innowacyjne cechy strimera Seismobile eliminują większość niedogodności dotychczasowych strimerów w zakresie akwizycji danych pomiarowych.

Artykuł został opracowany w wyniku realizacji projektu nr UOD-DEM-1-303/001 o akronimie SEISMOBILE uzyskanego w ramach przedsięwzięcia pilotażowego Wsparcie badań naukowych i prac rozwojowych w skali demonstracyjnej DEMONSTRATOR+ dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Literatura

- Isakow i in. 2016 – Isakow, Z., Pysik, A., Przybyła, M., Juzwa, J. i Kuciara, I. 2016. Oprogramowanie narzędziowe strimera Seismobile. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* nr 93, s. 169–180, Kraków.
- Kubańska i in. 2016 – Kubańska, A., Isakow, Z. i Pilecki, Z. 2016. Założenia funkcjonalne systemu Seismobile. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* nr 93, s. 133–142, Kraków.
- Link, C. i Goldberg, W. 2011. Seismic Refraction Tomography using a Landstreamer for Estimating Void Volume in a Reclamation Project. *Mat. Konf. 24rd EEGS Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2011*, s. 245–255.
- O'Neill i in. 2006 – O'Neill, A., Safani, J. i Matsuoka, T. 2006. Landstreamers and surface waves: Testing and results. *Mat. Konf. 19th EEGS Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2006*, s. 1065–1074.
- Pilecki i in. 2014a – Pilecki, Z., Harba, P., Czarny, R., Cielesta, S. i Pszonka, J. 2014a. Geofony w sejsmice inżynierskiej. *Przegląd Górniczy* 7, s. 22–31.
- Pilecki i in. 2014b – Pilecki, Z., Harba, P., Laszczak, M., Adamczyk, A. i Cielesta, Sz. 2014b. Strimery w sejsmice inżynierskiej. *Przegląd Górniczy* 7, s. 32–38.
- Pilecki i in. 2016a – Pilecki, Z., Czarny, R., Matuła, R., Krawiec, K., Harba, P., Pilecka, E. i Barnaś, M. 2016a. Możliwości systemu Seismobile w przestrzennym zobrazowaniu sejsmicznym i georadarowym podłoża szlaków komunikacyjnych. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* nr 93 (w druku).
- Pilecki i in. 2016b – Pilecki, Z., Czarny, R., Chamarczuk, M., Krawiec, K. i Pilecka, E. 2016b. Skuteczność rejestracji zestawu pomiarowego strimera sejsmicznego Seismobile. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* nr 93 (w druku).
- Pugin i in. 2004 – Pugin, A.J.M., Larson, T.H. i Sargent, S. 2004. 3.5 km/day of high resolution seismic reflection data using a landstreamer. *Mat. Konf. 17th EEGS Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2004*, s. 1380–1388.