

Strimery w sejsmice inżynierskiej

Streamers in seismic engineering



*Dr hab. inż. Zenon Pilecki,
prof. IGSMiE PAN.*)*



Mgr inż. Paulina Harba)*



Inż. Mateusz Laszczak)*



Inż. Andrzej Adamczyk)*



Inż. Szymon Cielesta)*

Treść: W artykule przedstawiono przegląd strimerów sejsmicznych wykorzystywanych w badaniach sejsmiki inżynierskiej. Znajdują one zastosowanie przede wszystkim w badaniach podłoża gruntowego szlaków komunikacyjnych. Pomiaru takimi urządzeniami można również wykonywać w innych celach badawczych, lecz w warunkach terenowych o płaskim lub słabo zmienionym ukształtowaniu. Obecnie strimery sejsmiczne używane są w warunkach, gdzie długość i liczba profili pomiarowych zmuszają do wielokrotnego rozstawiania i składania sprzętu sejsmicznego. Autorzy definiują pojęcie strimera sejsmicznego. Opracowano klasyfikacje ze względu na rodzaje konstrukcji i sposoby mocowania czujników w strimerach. Scharakteryzowano i zilustrowano zasadę działania oraz opisano obecne stadium i kierunek rozwoju technologii strimerów. Przedstawione zostały możliwe konfiguracje strimerów sejsmicznych wraz z pojazdami ciągnącymi i źródłami sejsmicznymi wykorzystywanymi w pomiarach. Zaprezentowano przykłady strimerów sejsmicznych stosowanych w sejsmice inżynierskiej, ze szczegółowymi ich opisami. Dokonano porównania konstrukcji wybranych strimerów sejsmicznych.

Abstract: This paper presents a detailed overview of land streamers used in seismic engineering. They are commonly implemented in ground reconnaissance along communication routes. Other surveys can be also carried out with this systems, nevertheless field condition should be flat or moderately unchangeable. Nowadays land streamers are used when length and number of seismic profiles force us to make several changes in classical system set-up. Authors defined the term of land streamer. Classification is made due to construction and sensor handle. Characterization and illustration of land streamer principle of operation has been presented. Current direction of technical development was described. The authors presented possible configurations with different towing vehicles and seismic sources. Exemplary land streamers used in industry has been presented with a detailed description. Constructions of selected land streamers have been compered.

*) IGSMiE PAN, Kraków

Słowa kluczowe:

strimer sejsmiczny, sejsmika inżynierska, szlaki komunikacyjne, klasyfikacja strimerów sejsmicznych

Key words:

land streamer, seismic engineering, communication routes, land streamer classification

1. Wprowadzenie

Urządzenie opisane w artykule, nazywane jest w terminologii angielskiej jako *land streamer* (LS). Autorzy proponują przyjąć polską nazwę tego urządzenia jako sejsmiczny strimer. Dalej konsekwentnie będziemy używać tej nazwy lub skrótu LS.

Strimer sejsmiczny jest linearnym układem geofonów specjalnie połączonych taśmą lub linką, przystosowanym do ciągnięcia po powierzchni terenu. Koncepcja urządzenia powstała dla potrzeb sejsmiki morskiej, gdzie strimery są holowane za statkiem [14].

Po raz pierwszy lądowe strimery sejsmiczne były testowane dla potrzeb branży naftowej w rejonie arktycznym Ameryki Północnej w pierwszej połowie lat 70. XX wieku [1, 11]. Badania zostały wykonane na lodzie i śniegu, których gładka i śliska powierzchnia ułatwiała przemieszczanie się długiego profilu. Wówczas stwierdzono porównywalną jakość wyników uzyskanych LS z klasycznymi geofonami wbijanymi w podłoże, przy istotnym zmniejszeniu liczby ludzi niezbędnych do przeprowadzenia badań. Od tego czasu zaczęto szerzej wykorzystywać strimery sejsmiczne dla potrzeb sejsmiki płytkiej. LS znalazły szerokie zastosowanie dla pomiarów wzdłuż szlaków komunikacyjnych. Kilka lat po pierwszych testach na lądzie, rozwiązanie ciągniętego kabla sejsmicznego po powierzchni terenu zostało opatentowane przez Kruppenbacha i Bedenbendera [4].

Wiele prac zostało opublikowanych w okresie ostatnich 30 lat dotyczących LS, mających jednocześnie duży wpływ na metody rozpoznawania ośrodków przypowierzchniowych [2, 17, 18, 8, 3]. Prace porównujące techniki akwizycyjne wielokrotnie wykazały niemal identyczne wyniki dla LS i klasycznej metodyki pomiarowej [19].

Wraz z postępującym rozwojem technologicznym i wzrostem zainteresowania w stosowaniu LS na przestrzeni lat powstało wiele różnych ich konstrukcji. LS ze względu na rodzaj konstrukcji można podzielić na taśmowe i linkowe (tab. 1). Taśmowe strimery sejsmiczne różnią się materiałem z jakiego zostały wykonane. Możemy wśród nich wyróżnić

taśmy parciane, gumowe, stalowe, wzmacniane kevlarem czy też obudowy węży strażackich. Wśród linkowych strimerów sejsmicznych wyróżniamy strimery jedno i dwulinkowe. Na szczególną uwagę zasługuje obudowa węży strażackiego, która charakteryzuje się wyjątkowo dużą trwałością (rys. 1). LS można również podzielić, ze względu na sposób mocowania czujnika (tab. 2). Wyróżniamy strimery z wkręcanymi czujnikami, samoorientujące się głowice typu „gimbal” i połączenia kardanowe.

Tabela 1. Klasyfikacja strimerów sejsmicznych ze względu na konstrukcję

Table 1. Land streamer classification based on the type of construction

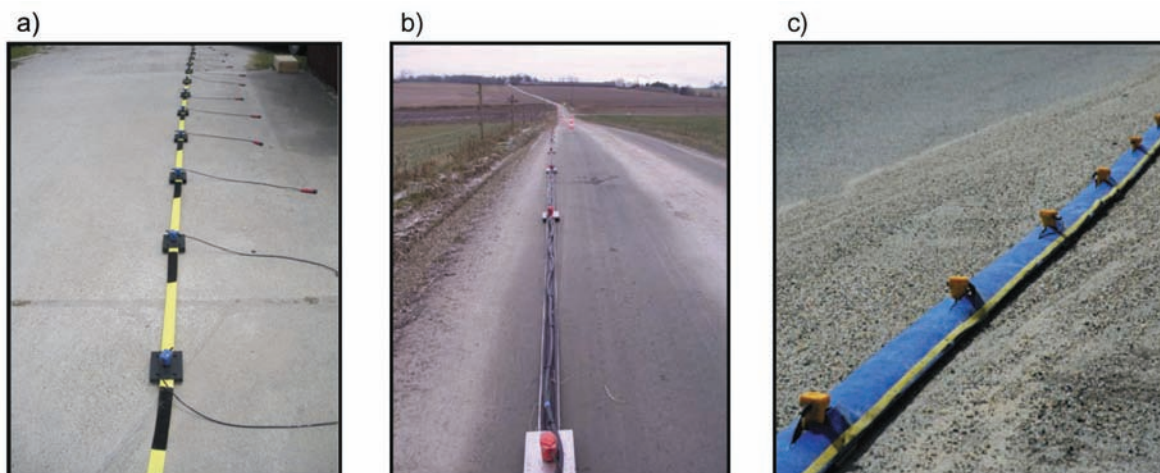
| Rodzaj sejsmicznego strimera | |
|------------------------------|--------------|
| Taśmowe | Linkowe |
| Parciane | Jednolinkowe |
| Gumowe | Dwulinkowe |
| Stalowe | |
| Tworzywo wzmacniane kevlarem | |
| Obudowa węży strażackiego | |

Tabela 2. Klasyfikacja strimerów sejsmicznych ze względu na sposób mocowania czujnika

Table 2. Land streamer classification based on the type of sensor mounting

| Sposób mocowania czujnika | | |
|--|-----------|---|
| Wkręcane Wkręty śrubowe Śrubowe (Galperiniego) | Kardanowe | Samoorientujące się głowice „gimbal” |

Sposoby mocowania czujników dotyczą podstawek, które cechować się muszą szczególną trwałością i odpornością na ścieranie oraz stabilnością. Obecnie na skalę przemysłową stosuje się różne rodzaje podstawek w zależności od ukształtowania terenu badań, rodzaju podłoża i warunków atmosferycznych. Wśród najpopularniejszych wyróżnia się



Rys. 1. Przykłady strimerów sejsmicznych: taśmowy – a [21], dwulinkowy – b [22], obudowa węży strażackiego – c [23]

Fig. 1. Example of a land streamer: tape a) [21], dual-string b) [22], fire hose housing c) [23]

drewniane, gumowe i stalowe. Są one często wyprofilowane w taki sposób, aby ułatwić mobilność i dokładność pozycjonowania czujników. W celu poprawienia jakości danych, stosuje się elementy o zwiększonej masie, które docierając układ czujnika poprawiają jego kontakt z podłożem.

2. Zasada działania strimera sejsmicznego

Strimer sejsmiczny zbudowany jest z czujników przymocowanych do elementu łączącego: linki lub taśmy oraz z systemu komunikacji z rejestratorem: zdalnym lub kablowym (rys. 2a).

Strimery sejsmiczne są wykorzystywane do pomiarów typu „start-stop”. Każdorazowo układ ciągniętych geofonów jest zatrzymywany w określonym krokiem dla potrzeb wykonania pomiaru. Od tego momentu akwizycja danych nie różni się od klasycznego pomiaru sejsmiki inżynierskiej. Jednostka rejestrująca najczęściej znajduje się na pojeździe samochodowym. Dane pomiarowe z czujników do jednostki rejestrującej przekazywane są drogą kablową lub w sposób zdalny, jak w przypadku strimera typu Seismobile-1, opracowanego w ramach projektu SEISMOBILE.

Strimery sejsmiczne są ciągnięte przez pojazdy mechaniczne, najczęściej samochody terenowe, ale także przez wibratory, quady czy samochody ciężarowe. Dobór pojazdu zależy przede wszystkim od warunków terenowych po jakich porusza się pojazd, a także od warunków atmosferycznych panujących w rejonie wykonywanych pomiarów.

Obecne stadium rozwoju zastosowań strimerów sejsmicznych pozwala na wykonywanie pomiarów w różnych konfi-

guracjach. Na ogół stosuje się układy połączonych ze sobą LS tworzących długie profile lub równoległe ułożonych zestawów LS tworzących układ 3D, np. Seismobile-1 (rys. 2b). Oprócz sposobu łączenia poszczególnych LS, można zmieniać także odsunięcie punktu wzbudzenia drgań i odległości między czujnikami. Konfiguracja układu LS zależy przede wszystkim od celu zadania geologiczno-inżynierskiego.

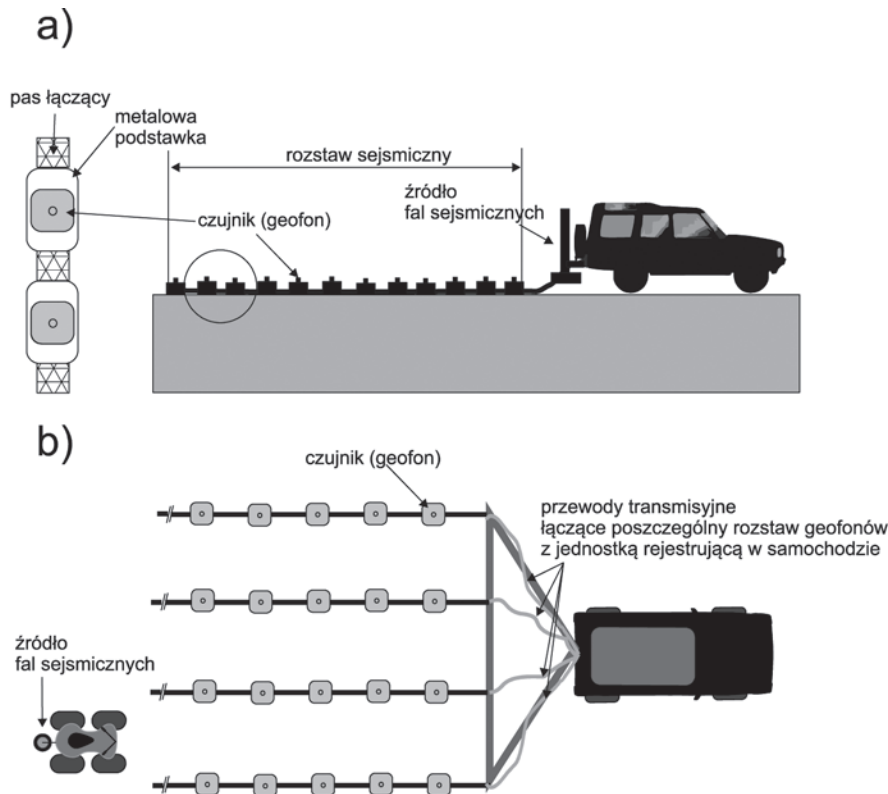
Praktycznie wszystkie rodzaje źródeł stosowanych w sejsmice inżynierskiej można wykorzystywać przy pomiarach strimerami sejsmicznymi. Wśród najpopularniejszych są mini-wibratory, kafary i młoty, zarówno mobilne, jak i montowane przy pojeździe ciągnącym układ LS.

3. Przegląd strimerów sejsmicznych stosowanych na świecie

3.1. Sejsmiczne strimery taśmowe (SST)

Przykładami taśmowych strimerów sejsmicznych wykorzystywanych do celów inżynierskich są:

- **LS-1**, produkcji Geostuff [24],
- **Land streamer**, produkcji ETH [17],
- **Land streamer KGS**, produkcji Kansas Geological Surveys Crew [20],
- **Bay Geophysical**, produkcji Geological Surveys, Japonia [20],
- **Tyrens** [16],
- **Terra Australis**, produkcji Geophysica Pty Ltd [15],
- **RAMBOLL** [19],
- **LS 12/ LS 24**, produkcji Geosym [25].



Rys. 2. Schemat przykładowego strimera sejsmicznego: pojedyncza linia LS ze źródłem zamontowanym na samochodzie ciągnącym układ – a); układ 4 linii z mobilnym źródłem – b)

Fig. 2. Example of a land streamer scheme: single line with source located on towing vehicle – a); 4-line array with mobile source – b)

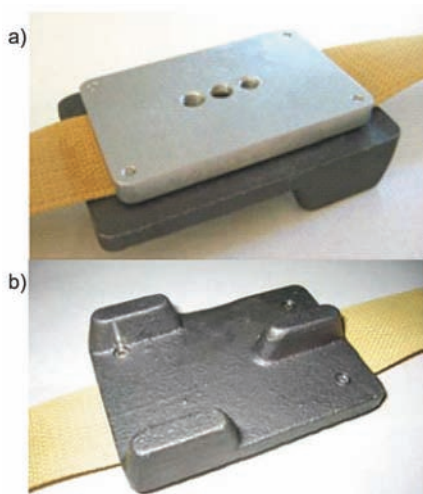
Typowym przykładem taśmowego strimera sejsmicznego jest LS-1 opracowany przez Geostuff - strimerLS-1 (rys. 3). Urządzenie składa się z metalowych podstawek na geofony oraz parciaonej taśmy utrzymującej stały odstęp między geofonami. Podstawki składają się z dwóch skręcanych ze sobą płytek. Górna płytką zawiera różnośrednicowe gwinty (rys. 4a) pozwalające na montaż oraz szybką wymianę geofonów.



Rys. 3. Taśmowa konstrukcja strimera sejsmicznego LS-1 produkcji Geostuff [24]

Fig. 3. LS-1 land streamer, Geostuff [24]

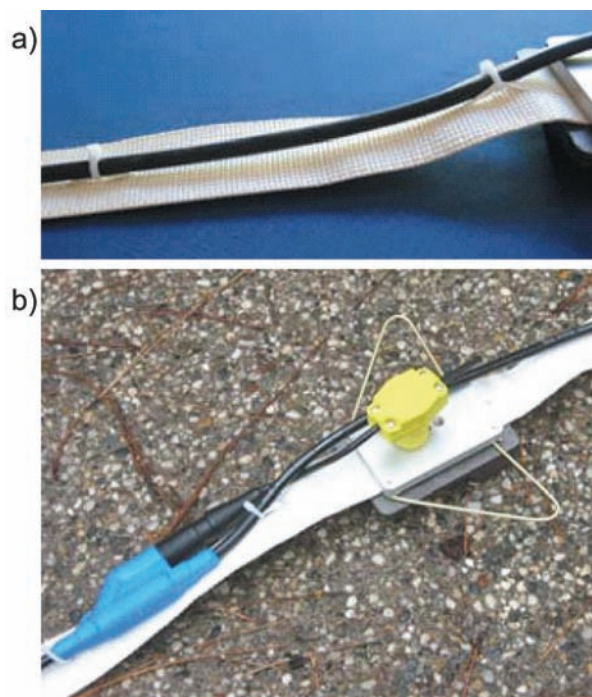
Dolna płytką wykonana jest z odpornego na ścieranie stopu stali Cr-Mn-Mo. Odlana jest w kształcie niewielkiego trójkąta (rys. 4b), zapewniając stabilność poprzez zagłębienie się w miękkim gruncie, a tym samym dobry kontakt z podłożem. Pomiędzy płytkami przeprowadzona jest taśma szerokości 5cm, wzmocniona kevlarem, dla zapewnienia dużej wytrzymałości na ścieranie oraz rozciąganie. Taśma wytrzymuje obciążenie masą 2200 kg. Kable geofonowe przypinane są do górnej części taśmy poprzez nylonowe obejmy (rys. 5), zapobiegając tarcia kabla o podłoże. W przypadku, gdy strimer ciągnięty jest po podłożu z dużymi odstępami między odbiornikami, stosuje się stelaże metalowe, zapobiegające przewracaniu się geofonów (rys. 5).



Rys. 4. LS-1: Górna płytką z gwintami pozwalającymi na montaż geofonów – a; dolna płytką podstawki – b [24]

Fig. 4. LS-1: Top plate is drilled and tapped for geophones a); the base plate b) [24]

Jest to urządzenie 24-kanalowe, a wykorzystywanym źródłem sejsmicznym jest 41-kilogramowy kafar, lub źródło impulsowe, niszczące - Betsy Gun. Liczba i rodzaj czujników jest dowolna. LS może być holowany za pomocą ATV lub samochodu.



Rys. 5. Nylonowe obejmy utrzymujące kabel geofonowy na wierzchniej stronie taśmy strimera – a; antyrotacyjne skrzydła strimera, zapobiegające przewracaniu się geofonów – b [24]

Fig. 5. Loops are woven into the webbing at short intervals so that the geophone cables can be secured to the top surface with nylon cable ties a); anti-rotation wing supplied with the system to add stability b) [24]

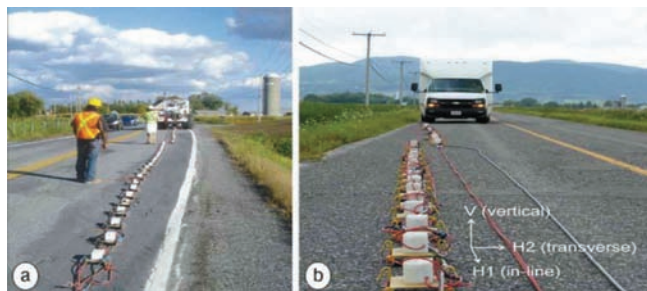
3.2. Sejsmiczne strimery linkowe (SSL)

Przykładami linkowych strimerów sejsmicznych wykorzystywanych do celów inżynierskich są:

- **Land streamer** produkcji Illinois State Geological Survey [20],
- **Land streamer** produkcji COWI [20],
- **Land streamer** produkcji Illinois State Geological Survey [8],
- **Land streamer** produkcji Kyoto University [7],
- **Land streamer**, Geological Survey of Canada [13],
- **Landstreamer 3C**, Geological Survey of Canada [9].

Linkowy strimer sejsmiczny wykonany przez Geological Survey of Canada przeznaczony jest do pomiarów wzdłuż utwardzonych dróg (rys. 6). Urządzenie składa się z 48 metalowych podstawek o masie 3 kg każda, połączonych liną o słabej rozciągliwości. Odległość pomiędzy czujnikami może być dobrana w zależności od celu badań. Najczęściej wynosi od 0,75 m do 3 m. Na każdej podstawie umieszczone są trójskładowe geofony 30Hz. Rejestracja danych wykonywana jest za pomocą sześciu 24-kanalowych sejsmografów inżynierskich Geometrics Geode. Źródłem drgań jest wibrator umieszczony na pojeździe holującym. Wibrująca płyta o masie 140 kg pozwala uzyskać sygnał typu sweep zorientowany pionowo lub poziomo w paśmie częstotliwości od 10 do 550

Hz. Odległość pomiędzy punktami wzbudzenia zazwyczaj wynosi od 1,5 do 6 metrów. System umożliwia wykonanie 3,5 - 4 km profilu sejsmicznego dziennie (rys. 7).



Rys. 6. Pomiary landstreamerem w Montérégie, Quebec – Minivib holujący 48-kanalowy landstreamer 3C – a; zbliżenie na geofony zamontowane na podstawkach – b [20]

Fig. 6. Data acquisition with land streamer in Montérégie, Quebec – Minivib with 48 channel LS a); geophones mounted on stands b) [20]

4. Porównanie konstrukcji wybranych strimerów sejsmicznych

LS różnią się źródłami sejsmicznymi, pojazdami do ciągnięcia, liczbą i rodzajem czujników, sposobem mocowania czujnika lub też transmisją danych. Porównanie takich przykładowych konstrukcji zawiera tabela 3.

LS różnią się konstrukcją oraz możliwością doboru parametrów pomiarowych w zależności od takich czynników jak: metoda pomiarów i ich zakres, zasięg głębokościowy i warunki terenowe.



Rys. 7. Pomiary landstreamerem 3C [20]

Fig. 7. Acquisition with 3C land streamer [20]

Tabela 3. Porównanie konstrukcji wybranych strimerów sejsmicznych (na podstawie [6])
Table 3. Comparison of constructions of selected land streamers (based on [6])

| Nazwa LS | Producent | Rodzaj konstrukcji | Mocowanie czujnika, podstawki | Źródło sejsmiczne | Transmisja danych | Liczba i rodzaj czujników | Pojazd do ciągnięcia |
|-------------------------------|---|--|---|--------------------------------|--------------------------------|---|----------------------------------|
| - | Illinois State Geological Survey | Linkowa, dwulinkowa | Wkręcane do podstawki | 45 kg kafar lub 1 kg młot | Nieosłonięte przewody, „Geode” | 24 pionowe geofony 40Hz lub 2x12 poziome geofony 14Hz | Samochód terenowy |
| LS-1 | Geostuff | Taśmowa, parciana, wzmocniona kevlarem | Wkręcane do dwuczęściowej podstawki z Cr-Mn-Mo stop stali ¹⁾ | 41 kg kafar lub Betsy gun | Nieosłonięte przewody | Dowolna | Samochód terenowy |
| 2) | ETH-Swiss Federal Institute of Technology Institute of Geophysics | Taśmowa, taśma gumowa | Samoorientujące głowice „gimbal”, podstawki stalowe, profilowane | Mini Vie | Ekranowany kabel geofonowy | 96 geofonów, 28 Hz | - |
| 3) | COWI, Lyngby | Linkowa, jednolinkowa | Samoorientujące głowice „gimbal”, podstawki stalowe, profilowane | Mini Vib II | Ekranowany kabel geofonowy | 95 geofonów, w odstępach 1,25-2,5 m, 28 Hz | Samochód ciężarowy (Mini Vib II) |
| IGS ⁴⁾ | Geological Survey of Canada | Linkowa, dwulinkowa | połączenie kardanowe, podstawki stalowe, profilowane | Młot | Ekranowany kabel geofonowy | 48 geofonów, z interwałem 2 m, 10-28 Hz | Samochód ciężarowy (MiniVib) |
| KGS ⁵⁾ | Kansas Geological Surveys Crew | Taśmowa- wąż (strzački) | połączenie kardanowe, ew. łącznik śrubowy, podstawki stalowe, profilowane | Młot, kafar | Ekranowany kabel geofonowy | 48 geofonów, z interwałem 1-2 m, 4,5- 10 Hz | ATV |
| BAY GEOPHYSICAL ⁶⁾ | Geological Surveys, Japonia | Taśmowa, nylonowo-gumowa | wkręty śrubowe, podstawki stalowe, profilowane | Młot | Ekranowany kabel geofonowy | 48 geofonów, z interwałem 0,3-1 m, 10-28 Hz | - |
| RAMBOLL ⁷⁾ | - | Taśmowa, parciana, sprzęt modułowy | połączenie śrubowe, podstawki stalowe, profilowane, waga 4 kg | Vibe lub wibrator Failin T1100 | Ekranowany kabel geofonowy | Dedykowana metodycznie długość kanałów oraz mieszany interwał geofonowy- zmienna ilość geofonów, 10-28 Hz | Samochód terenowy |

| | | | | | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|----------------------|--|--|---|--|------------------------------|
| TYRENS ⁸⁾ | - | Taśmowa, syntetyczna | połączenie śrubowe, podstawki stalowe, profilowane | Młot | Ekranowany kabel geofonowy | 24 geofony OYO/ Geospace, 4,5 Hz | Samochód terenowy |
| MONTANA-Tech – USA ⁹⁾ | - | Taśmowa, gumowa | połączenie kardanowe, podstawki stalowe/ gumowe, skręcane | MiniVibe, (na zmodyfikowanym Land Tamerze) | Ekranowany kabel geofonowy | 24 geofony | Samochód terenowy+ATV |
| SNOWSTREAMER-CALGARY | - | Taśmowa, parciana | połączenie śrubowe (Galperiniego), podstawki stalowe, profilowane | Młot | Ekranowany kabel geofonowy | Geofony 28 Hz | - |
| - | Kyoto University | Linkowa, dwulinkowa | - | Młot | Ekranowany kabel geofonowy | Geofony 4,5 Hz OYO | - |
| CALGARY CREWES ¹⁰⁾ | - | Taśmowa, parciana | połączenie śrubowe, podstawki stalowe, profilowane, taśmy metalowe, wypustki stabilizujące | IVI- Envirovibe | Ekranowany kabel geofonowy | 20 geofonów, 10 Hz, 3C | ATV |
| GSC | Geological Survey of Canada | Linkowa, dwulinkowa | podstawki stalowe, profilowane | Minivib IVI (140 kg) | Ekranowany kabel geofonowy | Zmienna liczba odbiorników (3C) oraz ich rozstaw | Samochód ciężarowy (MiniVib) |
| - | ETH-Institute of Geophysics | - | połączenie kardanowe | Młot, 5 kg | Ekranowany kabel geofonowy | 96 geofonów, 30 Hz | Samochód terenowy |
| - | Terra Australis Geophysics Pty Ltd | Taśmowa, parciana | połączenie kardanowe, podstawki stalowe, profilowane | Kafar, 50 kg z wysokości 1 m | Ekranowany kabel geofonowy | 24 geofony, 4,5 Hz | Samochód terenowy |
| - | Illinois State Geological Survey | Linkowa, dwulinkowa | podstawki stalowe, profilowane | Kafar, 15-50 kg | Ekranowany kabel geofonowy | Geofony 40 Hz | Samochód terenowy |
| 11) | Uppsala Universitet | Taśmowa, parciana | podstawki stalowe, profilowane | Młot, kafar lub wibrator | Ekranowany kabel geofonowy/ bezprzewodowo | Geofony DSU3 | - |
| LS 12/ LS 24 | GeoSym | Taśmowa, parciana | podstawki stalowe, profilowane | wibrator | Ekranowany kabel geofonowy | - | - |

Uwagi (opracowane na podstawie [6]):

- Maksymalna długość układu pomiarowego wynosi około 400 m, skutkuje to słabą sterownością; wymagany jest pojazd o dużym uciążu; użycie jednego źródła pozwala tylko na pozyskiwanie danych sejsmiki refleksyjnej.
- Wymagany jest pojazd o dużym uciążu; użycie jednego źródła pozwala na zastosowanie schematu przetwarzania z sejsmiki morskiej.
- Wymagany jest pojazd o dużym uciążu; brak danych o wytrzymałości otuliny strimera sejsmicznego; znaczne wydłużenie czasu naprawy w terenie.
- Nie jest wymagany pojazd o dużym uciążu; użycie jednego źródła pozwala na zastosowanie metodyki refleksyjnej bądź MASW; brak informacji o stosowaniu drugiego źródła dla pomiarów refrakcyjnych; geofony są mocowane bardzo blisko powierzchni gruntu.
- Wymagany jest pojazd o dużym uciążu; użycie jednego źródła pozwala na zastosowanie schematu znanego z przetwarzania danych sejsmiki morskiej; wpływ silnika napędzającego wibrator na jakość danych jest nieznan; brak zabezpieczeń przed ścieraniem kabli geofonowych; stosowanym źródłem sejsmicznym jest wibrator Vibe (waga 3,5 t, wytwarzany sweep ma częstotliwości od 10 do 550 Hz) lub Failin T1100 (waga 12 ton, wytwarzany sygnał o częstotliwości od 10-120 Hz).
- Wymagany jest pojazd o dużym uciążu; konstrukcja nie posiada żadnych zabezpieczeń, co może skutkować częstymi awariami sprzętu (np. okręcającymi się geofonami).
- Wymagany jest pojazd o dużym uciążu; brak danych o dotychczasowej efektywności urządzenia i jakości pozyskiwanych danych.
- Wykorzystywanym źródłem sejsmicznym, a jednocześnie pojazdem do uciążu strimera sejsmicznego jest IVI- Envirovibe o masie 8200 kg, generującym sygnał o częstotliwości 10 – 250 Hz.

5. Podsumowanie

Strimery sejsmiczne znajdują zastosowanie przede wszystkim w badaniach podłoża gruntowego szlaków komunikacyjnych. Pomiaru takimi systemami można również wykonywać w innych celach badawczych, lecz w warunkach terenowych o płaskim, lub słabo zmiennym ukształtowaniu. Przykładem takiego zastosowania są obwałowania lub większe powierzchnie terenu przeznaczone pod budowę wielkogabarytowych obiektów budowlanych.

Obecnie rozwój konstrukcyjny strimerów sejsmicznych zmierza w kierunku ergonomii pracy systemu oraz poprawienia parametrów wpływających na zwiększenie stosunku sygnału użytecznego do szumu.

W badaniach sejsmiki inżynierskiej, tam gdzie jest to możliwe, coraz częściej stosowane są strimery sejsmiczne zamiast klasycznych geofonów wbijanych do gruntu. Postęp technologiczny powoduje, że uzyskiwane wyniki mają coraz

lepszą jakość i są osiągnięte przy mniejszym nakładzie pracy i mniejszych kosztach.

Obecne stadium rozwoju strimerów sejsmicznych pozwala na montaż wielu rodzajów czujników i wykorzystanie wielu rodzajów źródeł w badaniach inżynierskich. O przydatności strimerów sejsmicznych w badaniach sejsmicznych świadczy coraz większa liczba produkowanych systemów o różnych konstrukcjach przeznaczonych do różnych celów badawczych.

Literatura

- Eiken O., Degutsch M., Riste P., Rod K., Snowstreamer: An efficient tool in seismic acquisition. First Break 7 (1989), 374 - 378.*
- Einarsson J., Brooks D., Bennett G., White A.: Seismic survey on the Beaufort Sea Ice. Geophysics 42 (1977), 148.*
- Inazaki T.: High-resolution S-wave reflection survey in urban areas using a woven belt type land streamer. Near Surface 2004, Expanded Abstracts, Paper A016.*

4. *Kruppenbach J.A., Bedenbender J.W.*: Towed land cable. U. S. Patent 3 923 121. 1976
 5. *Link C., Goldberg W.*: 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, 245 - 255.
 6. *Matula R.*: System sejsmiczny dla potrzeb diagnostyki podłoża szlaków komunikacyjnych, Analiza techniczno-ekonomiczna, IGSMiE PAN, 2014 Kraków (praca niepublikowana).
 7. *O'Neill A., Safani J., Matsuoka, T.*: Landstreamers and surface waves: Testing and results. Mat. Konf. 19th EEGS Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2006, 1065 - 1074.
 8. *Pugin A. J. M., Larson T. H., Sargent S.*: 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, 1380 - 1388.
 9. *Pugin A. J. M., Pullan S. E., Duchesne M. J.*: Regional hydrostratigraphy and insights into fluid flow through a clay aquitard from shallow seismic reflection data. The Leading Edge 28(10) 2013, 1248 – 1261.
 10. *Pugin A.J. M., Pullan S.E., Hunter J.A., Oldenborger G.A.*: Hydrogeological prospecting using P- and S- wave landstreamer seismic reflection methods, Near Surface Geophysics 2009, Vol 7 Number 5-6, 315 - 327.
 11. *Pugin A.J.M., Pullan S.E., Hunter J.A.*: Multicomponent high-resolution seismic reflection profiling. The Leading Edge 2009, Volume 28, Issue 10, pp. 1182 - 1265.
 12. *Pugin A.J.M., Sargent S. Hunt L.*: SH and P wave seismic reflection using landstreamers to map shallow features and porosity characteristics in Illinois. Mat. Konf. SAGEEP 2006, 1094 - 1109.
 13. *Pullan S.E., Pugin A.J.M., Hunter J.A., Cartwright T., Douma M.*: Application of P-wave seismic reflection methods using the land-streamer/minivib system to near-surface investigations. Mat. Konf. 21st EEGS Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2008, 614 - 625.
 14. *Suarez G.M., Stewart R.R.*: Side-by-side comparison of 3-C land streamer versus planted geophone data at the Priddis test site. CREWES Research Report 2008, Volume 20, 1 - 16.
 15. *Suto K., Scott B.*: 3D treatment of MASW data for monitoring ground improvement at an uncontrolled fill site. ASEG Extended Abstracts 2009, Volume 1, 1 - 6.
 16. *Svenson M.*: Small scale use of land streamer and MASW- technique for soil mechanical and environmental purposes – Three case studies from Sweden. SAGEEP'06, Seattle Washington, USA, 2-6 April 2006, 1000 - 1011.
 17. *van der Veen M., Green A.G.*: Land-streamer for shallow seismic data acquisition: Evaluation of gimbal mounted geophones. Geophysics, Volume 63, 1408 – 1423.
 18. *van der Veen M., Spitzer R., Green A. G., Wild P.*: Design characteristics of a seismic land streamer for shallow data acquisition. Mat. Konf. 61th EAGE Conference & Exhibition 1999, Expanded Abstracts. 4 - 41
 19. *Vangkilde-Pedersen T., Dahl J.F., Ringgaard J.*: Five years of experience with landstreamer vibroseis and comparison with conventional seismic data acquisition. Mat. Konf. 19th EEGS Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2006. 1086 - 1093.
 20. www.geometrics.com
 21. www.gehriginc.com
 22. www.gamut.to.it
 23. www.pega.it
 24. www.geostuff.com
 25. www.geosym.de
-
-