



Zenon PILECKI*, Rafał CZARNY**, Michał CHAMARCZUK**,
Krzysztof KRAWIEC***, Elżbieta PILECKA****

Skuteczność rejestracji zestawu pomiarowego strimera sejsmicznego Seismobile

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki testów mających na celu dobór konstrukcji podstawy geofonu w zestawie pomiarowym strimera Seismobile dla zapewnienia możliwie optymalnej rejestracji sygnału sejsmicznego. Zestaw ten składa się ze stalowej płyty z przymocowanymi od dołu podporami (nózkami), a od góry zamocowanym geofonem. Istotnym elementem zestawu pomiarowego są nóżki, które mają zapewnić możliwie najlepszy kontakt z podłożem, zachować stateczność zestawu pomiarowego przy przesuwaniu się strimera sejsmicznego na kolejną pozycję pomiarową, oraz zapewnić wystarczającą odporność na ścieranie przy przesuwaniu po powierzchni terenu.

Przetestowano 6 różnych kształtów stalowych podstaw dla geofonu zestawu pomiarowego strimera Seismobile. Wszystkie testy przeprowadzono w identycznych warunkach pomiarowych w celu uniknięcia wpływu ośrodka pomiarowego. Wyniki testów pokazały, że wszystkie stalowe podstawy zniekształcają sygnał sejsmiczny ze względu na wartości amplitud oraz widma amplitudowego. Najkorzystniejsze wyniki uzyskano dla pionowych prędkości drgań, które w akceptowalny sposób były zniekształcone. W tym przypadku wartości amplitud oraz kształt i wartości widma dla testowanych podstaw są bardzo podobne do wyników dla czujnika referencyjnego. W przypadku składowych poziomych radialnej X i transwersalnej Y rejestracje są silnie, w podobny sposób zniekształcone. W ogólnym ujęciu stalowe podstawy powodowały wzmocnienie wartości amplitudy dla niższych częstotliwości w zakresie od kilku do ponad 100 Hz oraz wytłumienie wyższych częstotliwości. W grupie testowanych stalowych podstaw najkorzystniejsze wyniki, mając na uwadze wszystkie kryteria, w tym związane ze statecznością zestawu pomiarowego, posiada podstawa E.

Słowa kluczowe: sejsmika inżynierska, strimer sejsmiczny, zestaw pomiarowy, amplituda prędkości drgań, widmo amplitudowe

* Dr hab. inż., prof. IGSMiE PAN, ** Mgr inż., *** Dr inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków; e-mail: pilecki@meeri.pl

**** Dr hab. inż., prof. PK, Politechnika Krakowska, Kraków.

The effectiveness of the seismic signal registration by the Seismobile landstreamer measuring set

Abstract: The results of tests for the selection of construction of the base geophone of the Seismobile landstreamer measuring set to ensure the optimal recording seismic signal were presented. The set comprises a steel plate with legs attached to the bottom, and top mounted geophone. The legs, which are to ensure the best possible contact with the ground, keep the stability of the measuring set when moving the landstreamer to the next measurement position, and provide sufficient abrasion resistance when moving along the terrain surface are an important element of the set.

We tested 6 different shapes of steel bases for the landstreamer geophone measuring set. All tests were conducted under identical measuring conditions in order to avoid the influence of the surrounding medium. Test results showed that all the steel base distort the seismic signal due to the amplitude values and the amplitude spectrum. The most preferred results were obtained for the Z vertical velocity vibration, which were distorted in an acceptable manner. In this case, the amplitudes and the spectrum of the tested bases were very similar to the results achieved for the reference sensor. In the case of registrations for X radial horizontal velocity and Y transversal velocity, they were both strongly distorted. In general, the steel base caused amplification of amplitude value for the lower frequency range from a few to more than 100 Hz and an attenuation of higher frequencies. In the group of tested steel basis, a E base achieved the best possible result, taking all the criteria into account, including those related to the stability of the measuring system when Seismobile moves along the profile.

Keywords: Engineering seismic, land streamer, measuring set, amplitude of vibration velocity, amplitude spectrum

Wprowadzenie

Strimery sejsmiczne na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat znalazły szerokie zastosowanie w sejsmice inżynierskiej, głównie do badania podłoża szlaków komunikacyjnych, w warunkach powierzchni utrudniających mocowanie geofonu, np. płyty betonowe lub asfalt oraz w przypadku wykonywania długich, wielokilometrowych profili. Strimer jest mobilnym urządzeniem, którego głównym elementem jest układ specjalnie zamontowanych geofonów, przystosowanych do ciągnięcia po powierzchni terenu (Pilecki i in. 2014b). Łącząc zalety profilowania sejsmicznego oraz profilowania georadarowego, został opracowany system Seismobile (Kubańska i in. 2016). System ten jest przeznaczony do diagnostyki podłoża gruntowego projektowanych i modernizowanych szlaków komunikacyjnych – dróg, linii kolejowych, pasów startowych na lotniskach itp. System ten pozwala na wykonanie profilowania sejsmicznego techniką refrakcyjną, refleksyjną, lub wielokanałowej analizy fali powierzchniowej MASW. Umożliwia on również ciągły pomiar drgań sejsmicznych lub parasejsmicznych w okresie do ok. 12 godzin.

Geofon w układzie strimera zazwyczaj jest przymocowany do podstawy ułatwiającej przesuwanie po powierzchni terenu. Sposób montażu geofonu do podstawy i jej kontakt z podłożem mają istotne znaczenie dla skuteczności rejestracji sygnału sejsmicznego (Krohn 1984; Steeples i in. 1999; Tian i in. 2006; Carcione i in. 2016).

W pracy przedstawiono wyniki testów mających na celu dobór konstrukcji podstawy geofonu w zestawie pomiarowym strimera Seismobile, a zwłaszcza rodzaju „nózek” stalowej podstawy, dla zapewnienia możliwie skutecznej rejestracji sygnału sejsmicznego.

Testy wykonano w Laboratorium Metod Falowych IGSMiE PAN. Do zapisu danych wykorzystano sejsmograf GEODE firmy Geometrics. Analizę danych przeprowadzono przy użyciu oprogramowania SeismicPro 8.0 firmy GeoGiga oraz pakietu MATLAB.

1. Założenia konstrukcji zestawu pomiarowego strimera sejsmicznego Seismobile

Zestaw pomiarowy strimera Seismobile składa się ze stalowej płyty z przymocowanymi od dołu nóżkami, a od góry zamocowanym geofonem. Istotnym elementem zestawu pomiarowego są nóżki, które mają spełniać następujące podstawowe funkcje:

- zapewnić możliwie najlepszy kontakt z podłożem, w celu skutecznego odbioru sygnału sejsmicznego,
- utrzymać stateczność zestawu pomiarowego przy przesuwaniu się strimera sejsmicznego na kolejną pozycję pomiarową,
- zapewnić wystarczającą odporność na ścieranie przy wielokrotnym przesuwaniu po powierzchni terenu.

W celu weryfikacji skuteczności odbioru sygnału sejsmicznego przetestowano 6 rodzajów podstaw zestawów pomiarowych różniących się sposobem kontaktu z podłożem (rys. 1):

- A – posiada 1 nóżkę w kształcie wypukłego walca o średnicy ok. 80 mm i wysokości ok. 10 mm (rys. 1a),
- B – posiada 4 nóżki półkoliste o średnicy ok. 20 mm i wysokości ok. 5 mm (rys. 1b),
- C – posiada 4 nóżki w kształcie zaokrąglonego prostopadłościanu o wysokości 5 mm (rys. 1c),
- D – jak C, lecz o wysokości 30 mm (rys. 1d),
- E – posiada 3 nóżki w kształcie stalowej półkuli o promieniu 15 mm (rys. 1e),
- F – posiada 2 płozy o wysokości ok. 20 mm (rys. 1f).

Testowane płyty stalowe zestawu pomiarowego posiadały grubość ok. 4 mm i wymiary od 15 do 17 cm, w kształcie kwadratu (A, B i F) oraz prostokąta (C, D i E).

Kontakt nóżek stalowej podstawy z powierzchnią podłoża powinien zapewniać możliwie optymalny odbiór sygnału. W tym wypadku istotne znaczenie ma obciążenie podłoża zestawem pomiarowym. W przypadku zestawu E o masie 2,4 kg z trzema nóżkami w kształcie półkul o powierzchni styku z podłożem równej 1 mm^2 dla każdej nóżki, wytworzone naprężenie pionowe jest równe 7,8 kPa. Ten sam zestaw umocowany na podstawie z prostokątnymi nóżkami, których powierzchnia styku z podłożem wynosi 100 mm^2 wywiera naprężenie pionowe równe 0,078 kPa, czyli stukrotnie mniej.

2. Metodyka pomiarowa

Testowanie stalowych podstaw przeprowadzono zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2. Pomiar przeprowadzono na betonowej płycie, w warunkach laboratoryjnych w sposób następujący:

- podstawa stalowa wraz z czujnikiem została umieszczona w punkcie pomiarowym PP (fot. 1). Identyczny czujnik, tzw. referencyjny, został umieszczony bezpośrednio przy podstawie dla porównania wyników. Oba czujniki zostały podłączone do sejsmografu. Każdy geofon i stalowa podstawa były instalowane w tym samym punkcie pomiarowym w celu uniknięcia wpływu ośrodka pomiarowego,

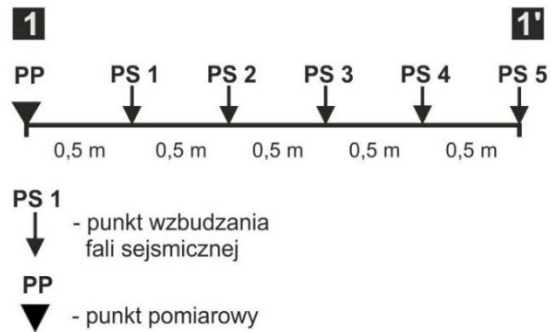


Rys. 1. Rodzaje testowanych podstaw geofonów

Fig. 1. Types of tested geophones' bases

- w wyznaczonych punktach w odległości od 0,5 do 2,5 m od punktu pomiarowego, co 0,5 m wzbudzano sygnał sejsmiczny. Źródłem fali był jeden uder stalowej kulki o masie 300 g swobodnie spuszczonej z wysokości 40 cm (fot. 2). Wysokość spadku kulki dla najmniejszej odległości od punktu rejestracji zostały tak dobrane, aby sejsmogram nie został przesterowany.

Czas rejestracji wynosił 2 s, a częstotliwość jego próbkowania 0,25 ms. W teście użyto trójskładowego czujnika o częstotliwości własnej 10 Hz produkcji firmy Sunfull. Zarejestrowano zapisy dla wszystkich trzech składowych: pionowej Z, poziomej radialnej X i poziomej transwersalnej Y. Oba geofony, referencyjny i pomiarowy, który był zainstalowany na podstawie stalowej, zostały sprawdzone pod względem poprawności rejestracji.



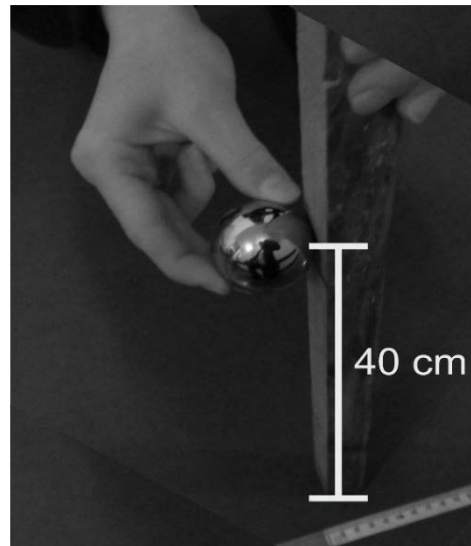
Rys. 2. Schemat pomiarowy

Fig. 2. Measurement scheme



Fot. 1. Przykład testowanej podstawy wraz z geofonem w pozycji pomiarowej

Phot. 1. An example of tested steel base with geophone in measurement position



Fot. 2. Wzbudzenie fali sejsmicznej za pomocą swobodnego spadku stalowej kuli

Phot. 2. Release of the seismic wave by dropping a steel ball

W pomiarach wykorzystano sejsmograf GEODE firmy Geometrics podłączony do laptopa z programem sterującym Geometrics Seismodule Controller v. 11.0.57.0.

3. Metodyka przetwarzania i interpretacji danych sejsmicznych

Przetwarzanie i interpretacja danych sejsmicznych miały na celu wyznaczenie maksymalnej średniej amplitudy prędkości drgań dla wszystkich składowych oraz częstotliwości dominujących w widmie amplitudowym. Kolejne etapy przetwarzania polegały na:

- uporządkowaniu i segregacji danych,
- sprawdzeniu danych pod kątem występowania zakłóceń,
- konwersję plików SEG2 do postaci tekstowej obsługiwanej przez program Matlab.

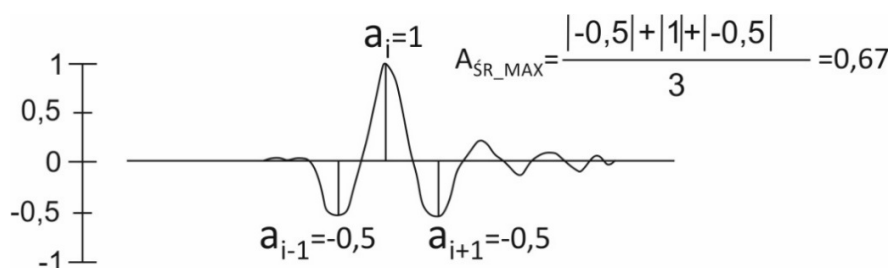
W przetwarzaniu danych sejsmicznych wykorzystano program Geogiga Seismic Pro 8.0 w module Front End. Interpretacja danych sejsmicznych polegała na:

- obliczeniu maksymalnej średniej amplitudy A_{SR_MAX} dla wszystkich składowych prędkości drgań według wzoru (rys. 3):

$$A_{SR_MAX} = \frac{|a_{i-1}| + |a_i| + |a_{i+1}|}{3}$$

gdzie:

- a – wartość próbki sygnału,
- i – numer próbki sygnału z wartością maksymalną.



Rys. 3. Sposób obliczania maksymalnej średniej amplitudy sygnału sejsmicznego

Fig. 3. Calculation of maximum mean amplitude of the seismic signal

- obliczeniu widm amplitudowych dla każdej składowej oraz wyznaczeniu częstotliwości dominującej.

4. Wyniki pomiarów i ich analiza

Wyniki pomiarów i obliczeń w postaci wartości maksymalnych amplitud średnich oraz częstotliwości dominujących dla wszystkich zapisów zamieszczono w tabeli 1. Wyfłuszczeniem oznaczono wartości najbardziej zbliżone do wartości uzyskanych dla czujnika referencyjnego, w nawiasach podano wartości procentowego odchylenia od wartości referencyjnej.

TABELA 1. Wartości maksymalnych średnich amplitud prędkości drgań oraz częstotliwości dominujących dla wszystkich zarejestrowanych tras sejsmicznych

TABLE 1. Maximal mean amplitude of vibration velocity and dominant frequency for all the seismic traces

| Punkt strzałowy | | PS1 | | PS2 | | PS3 | | PS4 | | PS5 | |
|-----------------|---|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Rodzaj podstawy | | $A_{MAX}(Q\%)$ [j.u.] | $f_{MAX}(Q\%)$ [Hz] | $A_{MAX}(Q\%)$ [j.u.] | $f_{MAX}(Q\%)$ [Hz] | $A_{MAX}(Q\%)$ [j.u.] | $f_{MAX}(Q\%)$ [Hz] | $A_{MAX}(Q\%)$ [j.u.] | $f_{MAX}(Q\%)$ [Hz] | $A_{MAX}(Q\%)$ [j.u.] | $f_{MAX}(Q\%)$ [Hz] |
| A | Z | 1,58(18) | 400(6) | 1,21(32) | 438(7) | 0,94(32) | 438(21) | 0,75(27) | 430(8) | 0,24(50) | 443(8) |
| | X | 0,39(160) | 6(98) | 0,21(250) | 6(99) | 0,14(250) | 6(98) | 0,1(233) | 8(98) | 0,07(250) | 8(98) |
| | Y | 0,19(90) | 6(89) | 0,18(350) | 6(99) | 0,16(433) | 8(97) | 0,16(700) | 8(98) | 0,09(800) | 8(97) |
| B | Z | 0,54(72) | 141(63) | 0,48(48) | 141(66) | 0,46(35) | 141(61) | 0,46(22) | 141(65) | 0,37(23) | 141(66) |
| | X | 0,27(80) | 61(84) | 0,19(217) | 141(67) | 0,15(275) | 141(49) | 0,15(400) | 141(65) | 0,11(450) | 141(66) |
| | Y | 0,21(110) | 61(15) | 0,21(425) | 39(91) | 0,15(400) | 141(46) | 0,1(400) | 141(65) | 0,09(800) | 141(50) |
| C | Z | 1,59(17) | 314(17) | 1,14(24) | 311(24) | 0,74(4) | 313(14) | 0,74(25) | 314(22) | 0,53(10) | 316(23) |
| | X | 0,62(313) | 16(96) | 0,36(500) | 20(95) | 0,33(725) | 18(94) | 0,24(700) | 76(81) | 0,09(350) | 78(81) |
| | Y | 0,43(330) | 63(19) | 0,24(500) | 63(85) | 0,19(533) | 63(76) | 0,07(250) | 76(0,81) | 0,05(400) | 63(78) |
| D | Z | 1,49(22) | 338(11) | 0,77(16) | 322(21) | 0,7(1) | 338(7) | 0,56(5) | 344(14) | 0,55(15) | 348(15) |
| | X | 0,57(280) | 16(96) | 0,41(583) | 18(96) | 0,4(900) | 18(94) | 0,15(400) | 72(82) | 0,05(150) | 72(83) |
| | Y | 0,39(290) | 63(19) | 0,22(450) | 63(85) | 0,16(433) | 63(76) | 0,09(350) | 72(82) | 0,04(300) | 72(74) |
| E | Z | 1,41(27) | 246(35) | 0,92(0) | 295(28) | 0,76(7) | 295(19) | 0,7(19) | 297(26) | 0,45(6) | 297(28) |
| | X | 0,24(60) | 72(81) | 0,17(1,83) | 105(76) | 0,15(275) | 105(62) | 0,09(200) | 74(82) | 0,09(350) | 74(82) |
| | Y | 0,13(30) | 59(11) | 0,12(200) | 59(86) | 0,11(267) | 281(08) | 0,11(450) | 59(86) | 0,08(700) | 281(0) |
| F | Z | 1,34(30) | 326(14) | 0,99(8) | 301(27) | 0,72(1) | 303(17) | 0,67(14) | 307(23) | 0,46(4) | 305(26) |
| | X | 0,11(27) | 86(78) | 0,11(83) | 86(80) | 0,06(50) | 86(69) | 0,04(33) | 86(79) | 0,04(100) | 283(32) |
| | Y | 0,21(110) | 84(58) | 0,18(350) | 86(80) | 0,07(133) | 86(67) | 0,06(200) | 86(79) | 0,05(400) | 281(0) |
| R | Z | 1,92 | 379 | 0,92 | 410 | 0,71 | 363 | 0,59 | 400 | 0,48 | 410 |
| | X | 0,15 | 389 | 0,06 | 430 | 0,04 | 277 | 0,03 | 408 | 0,02 | 416 |
| | Y | 0,1 | 53 | 0,04 | 422 | 0,03 | 260 | 0,02 | 408 | 0,01 | 281 |

Z, X, Y – amplitudy składowych prędkości.

A_{MAX} – maksymalna średnia amplituda.

$0\% = \frac{A - A_0}{A_0} \times 100\%$ – procentowe odchylenie od wartości referencyjnej,

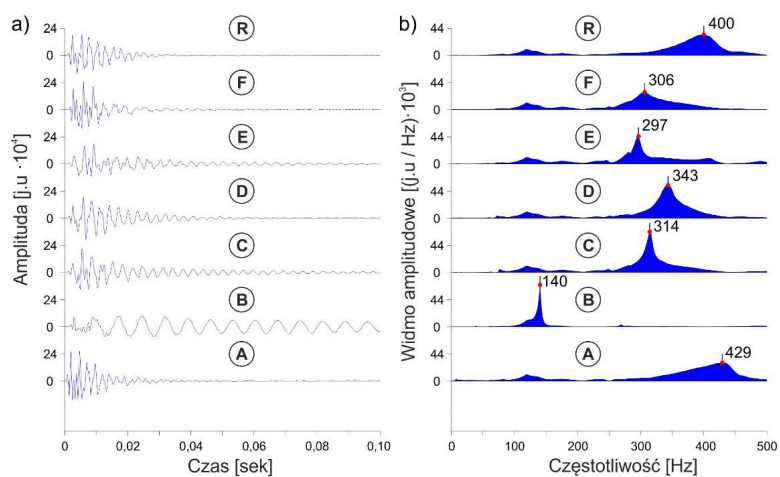
f – częstotliwość dominująca,

R – czujnik referencyjny.

Składowa pionowa Z

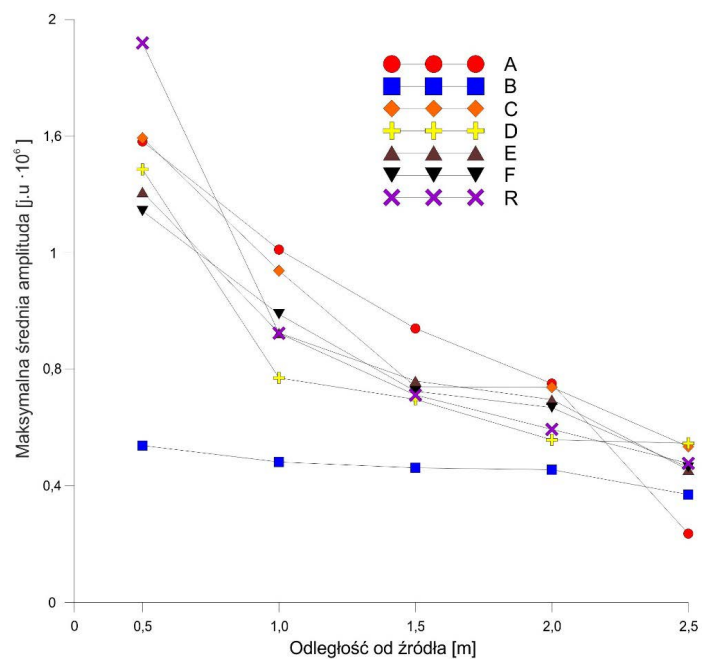
Na rysunku 4 przedstawiono przykład rejestracji sejsmicznych prędkości pionowej Z (rys. 5a) oraz ich widma amplitudowe (rys. 5b) dla PS4 oddalonego o 2 m od punktu pomiaru PP. Można zauważyć podobieństwo zapisów dla wszystkich podstaw z wyjątkiem B. Podobnie w przypadku widma amplitudowego, podstawa B różni się od pozostałych wzmocnieniem niskich częstotliwości i brakiem wyższych częstotliwości.

Główne częstotliwości dominujące dla czujnika referencyjnego R wynoszą ok. 400 i ok. 130 Hz. Największe odchylenia od tych wartości wykazują wartości uzyskane dla podstawy B. Dla pozostałych podstaw uzyskano zbliżone wartości częstotliwości dominujących.



Rys. 4. Rejestracje pionowej prędkości drgań Z (a) oraz ich widma amplitudowe (b) dla stalowych podstaw A–F i czujnika referencyjnego R dla PS = 2 m

Fig. 4. Seismic records of Z vertical velocity of vibration (a) and their amplitude spectrum (b) for steel bases A–F and reference geophone R for PS = 2 m



Rys. 5. Tłumienie maksymalnej średniej amplitudy pionowej prędkości drgań Z dla stalowych podstaw A–F i czujnika referencyjnego R

Fig. 5. Attenuation of maximum mean amplitude of Z vertical velocity of vibration for steel bases A–F and reference geophone R

Dla wszystkich testowanych podstaw średnie maksymalne amplitudy prędkości pionowej maleją wraz z oddalaniem się od źródła (rys. 5). Najbardziej zbliżone wartości amplitudy do wartości zarejestrowanych na czujniku referencyjnym R otrzymano dla podstaw D, E i F. Uśrednione procentowe odchylenie od wartości referencyjnej dla pięciu PS punktów strzałowych wynosi ok 11,4% dla podstawy F i 11,8% dla podstaw D i E. Największe różnice w wartościach otrzymano dla podstawy A oraz B.

Składowa pozioma prędkości X (radialna)

Na rysunku 6 przedstawiono rejestracje sejsmiczne prędkości poziomej X (rys. 6a) oraz ich widma amplitudowe (rys. 6b) dla PS4 oddalonego o 2 m od punktu pomiaru PP. Można zauważyć znaczące rozbieżności w zarejestrowanych przebiegach falowych dla każdej podstawy. W ogólnym ujęciu podstawy powodują wzmocnienie amplitudy prędkości radialnej w porównaniu do czujnika referencyjnego zwłaszcza dla niższych częstotliwości. Najbardziej zniekształcony zapis otrzymano dla podstaw B, C i D.

Czujnik referencyjny posiada główną częstotliwość dominującą ok. 400 Hz i zdecydowanie mniejszą ok. 50 Hz. Podstawy posiadają główne częstotliwości dominujące w zakresie od ok. 8 do 140 Hz. Wyższe częstotliwości zostały znacząco wy tłumione, przy czym wy tłumienie to jest mniejsze dla podstaw E i F.

Dla wszystkich testowanych podstaw rejestrowane amplitudy maleją wraz ze wzrostem odległości od źródła (rys. 7). Najbardziej zbliżone wartości średniej maksymalnej amplitudy prędkości drgań do wartości uzyskanych na czujniku referencyjnym R otrzymano dla podstawy F. Uśrednione procentowe odchylenie od wartości referencyjnej dla pięciu punktów strzałowych wynosiło ok. 58,6% dla podstawy F. Największe różnice w wartościach średniej maksymalnej amplitudy prędkości drgań otrzymano dla podstawy A i D.

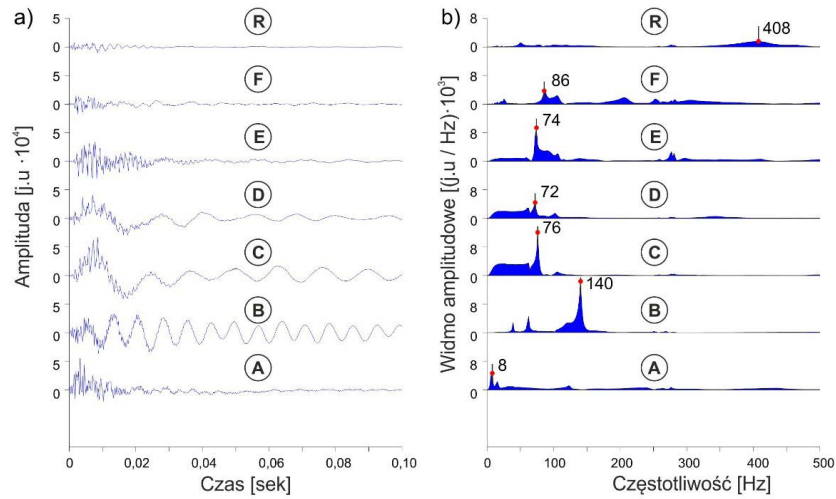
Składowa pozioma prędkości Y (transwersalna)

Na rysunku 8 przedstawiono rejestracje sejsmiczne prędkości poziomej Y (rys. 8a) oraz ich widma amplitudowe (rys. 8b) dla PS4 oddalonego o 2 m od punktu pomiaru PP. Można zauważyć znaczące rozbieżności w zarejestrowanych przebiegach falowych dla każdej podstawy, podobnie jak w przypadku składowej X. Najbardziej zniekształcony zapis otrzymano również dla podstaw B, C i D.

Częstotliwości dominujące czujnika referencyjnego R występują podobnie jak dla składowej X. Natomiast wszystkie testowane podstawy zachowują się podobnie jak dla składowej X. Zauważa się wzmocnienie niższych częstotliwości i wy tłumienie wyższych, przy czym w mniejszym stopniu dla podstaw D, E i F.

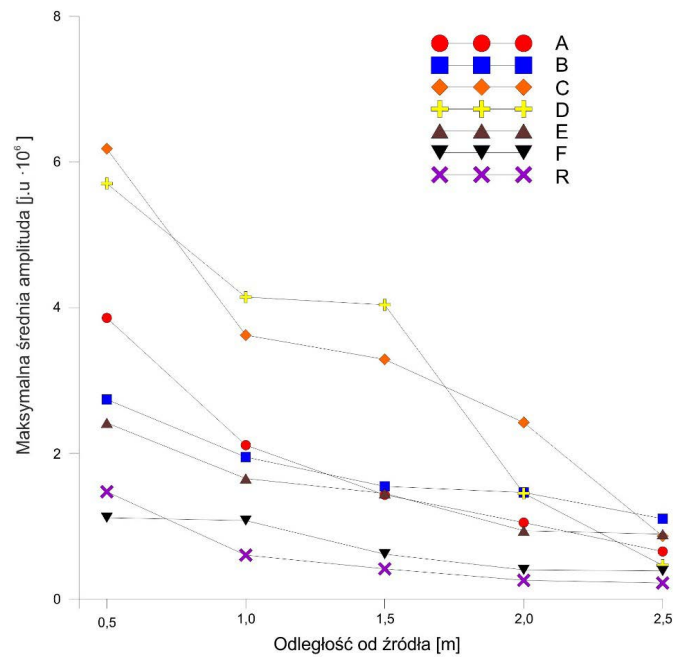
Podobnie jak w przypadku składowych Z i X dla wszystkich testowanych podstaw rejestrowane maksymalne amplitudy poziomej prędkości drgań Y maleją ze wzrostem odległości od źródła (rys. 9). Najbardziej zbliżone wartości amplitudy do wartości uzyskanych na czujniku referencyjnym R otrzymano dla podstawy F. Największe różnice w wartościach średniej maksymalnej amplitudy prędkości drgań otrzymano dla podstaw A oraz B.

Analizując zapisy wszystkich składowych należy zauważyć, że stalowe podstawy najmniej zniekształcają rejestracje pionowej prędkości drgań. Wartości amplitud oraz kształt i wartości widma dla testowanych podstaw są bardzo podobne do wyników dla czujnika referencyjnego. W przypadku porównania składowych poziomych radialnej X i transwersalnej Y rejestracje są silnie zniekształcone. Stalowe podstawy powodują wzmocnienie po-



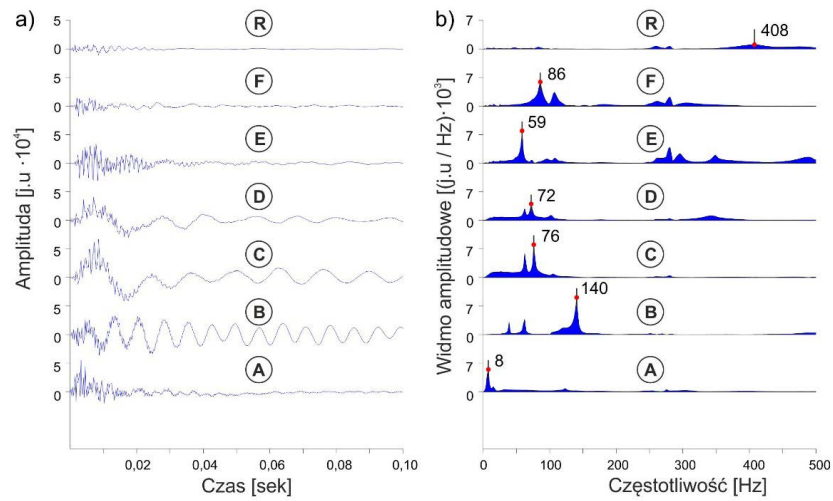
Rys. 6. Rejestracje poziomej prędkości drgań X (a) oraz ich widma amplitudowe (b) dla stalowych podstaw A–F i czujnika referencyjnego R dla PS = 2 m

Fig. 6. Seismic records of X horizontal velocity of vibration (a) and their amplitude spectrum (b) for steel bases A–F and reference geophone R for PS = 2 m



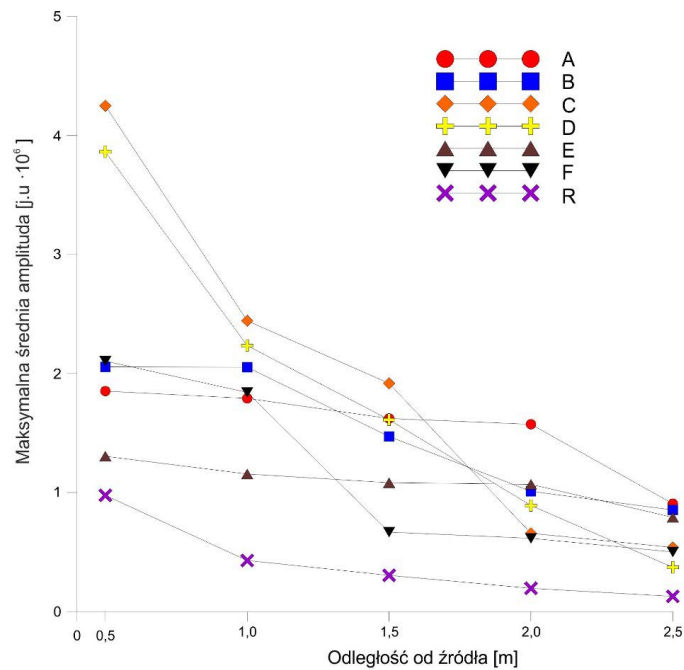
Rys. 7. Tłumienie maksymalnej średniej amplitudy poziomej prędkości drgań X dla stalowych podstaw A–F i czujnika referencyjnego R

Fig. 7. Attenuation of maximal mean amplitude of X horizontal velocity of vibration for steel bases A–F and reference geophone R



Rys. 8. Rejestracje poziomej prędkości drgań Y (a) oraz ich widma amplitudowe (b) dla stalowych podstaw A–F i czujnika referencyjnego R dla PS = 2 m

Fig. 8. Seismic records of Y horizontal velocity (a) and their amplitude spectrum (b) of steel bases A–F and reference geophone R for PS = 2 m



Rys. 9. Tłumienie maksymalnej średniej amplitudy poziomej prędkości drgań Y dla stalowych podstaw A–F i czujnika referencyjnego R

Fig. 9. Attenuation of maximal mean amplitude of Y horizontal velocity of vibration for steel bases A–F and reference geophone R

ziomej amplitudy prędkości drgań w porównaniu do czujnika referencyjnego. Powodują również zniekształcenie widma polegające na wzmocnieniu niższych częstotliwości oraz wytlumieniu wyższych częstotliwości. W grupie testowanych podstaw najkorzystniejsze wyniki, najbardziej zbliżone do wyników czujnika referencyjnego, uzyskano dla podstaw D, E i F. Mając na uwadze, również inne kryteria związane z utrzymaniem stateczności zestawu pomiarowego w czasie przemieszczania się strimera oraz skrętności na niewielkich przeszkodach terenowych przyjęto, że najlepsze parametry posiada podstawa E.

Wnioski

Przetestowano stalowe podstawy dla geofonu zestawu pomiarowego strimera Seismobile. Testowane podstawy różniły się między sobą kształtem i masą. Wszystkie testy przeprowadzono w identycznych warunkach pomiarowych. Na podstawie przeprowadzonych testów sformułowano następujące wnioski:

- Stalowa podstawa zniekształca sygnał sejsmiczny ze względu na wartości amplitud oraz kształt i wartości widma amplitudowego, przy czym zdecydowanie większe zniekształcenia stwierdzono dla składowych poziomych.
- Najlepsze wyniki rejestracji w grupie badanych stalowych podstaw, najbardziej zbliżone do wyników czujnika referencyjnego uzyskano dla wariantów D, E i F. Biorąc pod uwagę możliwości skrętne podstawy przy przemieszczaniu się zestawu pomiarowego strimera oraz warunki zachowania jego stateczności przyjęto podstawę E jako najbardziej korzystną.
- Podstawa E została tak skonstruowana, aby środek ciężkości znajdował się jak najniżej, co umożliwia zachowanie stateczności przy niewielkich przechyłach.

Literatura

- Carcione i in. 2016 – Carcione, J., Almalki, H. i Quadroh, N. 2016. Geophone-ground coupling with flat bases. *Geophysical Prospecting* 64(2), s. 255–267.
- Kubańska i in. 2016 – Kubańska, A., Isakow, Z. i Pilecki, Z. 2016. Założenia funkcjonalne systemu Seismobile. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* nr 93 (w druku).
- Krohn, C.E. 1984. Geophone Ground Coupling. *Geophysics* 49, s. 722–731.
- Pilecki i in. 2014a – Pilecki, Z., Harba, P., Czarny, R., Cielesta, S. i Pszonka, J. 2014. 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. 2014. Strimery w sejsmice inżynierskiej. *Przegląd Górniczy* 7, s. 32–38.
- Steepleś i in. 1999 – Steepleś, D.W., Baker, G.S., Schmeissner, C. i Macy, B.K. 1999. Geophones on a board. *Geophysics* 64(3), s. 809–814.
- Tian i in. 2006 – Tian, G., Shi, Z., Dong, S. i Wang, Z. 2006. Geophone coupling match and attenuation compensation in near-surface seismic exploration. *Journal of Environmental & Engineering Geophysics* 11(2), s. 111–122.
- Sunfull – Weihai Sunfull Geophysical Exploration Equipment Co. PS-10ES Geophone element main specification [Online] Dostępne w: <http://www.sunfull.com/content/?36.html> [Dostęp: 18.07.2016].