

Wpływ typu budynku na transmisję spektrów odpowiedzi od drgań górniczych z gruntu na fundamenty

The influence of building type on the transmission of response spectra of vibrations induced by mining tremors from the ground to building foundations



Prof. dr hab. inż. Krystyna Kuźniar^{*)}



Prof. dr hab. inż. Tadeusz Tatar^{**)}

Treść: Praca dotyczy analizy wyników badań doświadczalnych (pomiarów drgań) pod kątem wpływu konstrukcji budynku mieszkalnego na przekazywanie drgań pochodzenia górniczego opisanych za pomocą spektrów odpowiedzi, z gruntu na fundamenty. Rozważono trzy typy budynków mieszkalnych: niski, średniej wysokości i wysoki. Źródłem drgań były wstrząsy górnicze w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM). Analizowano wpływ typu budynku na transmisję spektrów odpowiedzi od drgań górniczych z gruntu na fundamenty. Oceny tego wpływu dokonano poprzez badanie relacji (stosunku) spektrów odpowiedzi od drgań gruntu i fundamentów budynków (RRS). Rozważono bezwymiarowe przyspieszeniowe spektra odpowiedzi (β) i odpowiednie spektra wymiarowe (S_a) od drgań poziomych. Stwierdzono, że daje się zauważyć wpływ konstrukcji budynku na postać krzywych relacji (stosunku) spektrów odpowiedzi od jednocześnie mierzonych drgań gruntu i fundamentów budynków. Różnice te są wyraźniej widoczne w przypadku krzywych RRS (β), wyznaczonych z użyciem bezwymiarowych przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi β , niż w przypadku krzywych RRS (S_a), obliczanych dla analogicznych par spektrów wymiarowych S_a .

Abstract: This paper presents the analysis of the experimentally obtained results (measurements of vibrations) in terms of the influence of apartment building structure on the transmission of mine-induced vibrations described by the response spectra, from the ground to the building foundation. Three types of apartment buildings were considered: low building, medium-height building and tall building. Rockbursts in the mining region Legnica-Głogow Copperfield (LGOM) were the sources of vibrations. The influence of the type of building on the transmission of response spectra from the mine-induced ground vibrations to building foundations was analysed. Estimation of this influence was performed by examining the relationship (ratio) between the response spectra from the ground and building foundations vibrations (RRS). Non-dimension acceleration response spectra (β) as well as dimension acceleration response spectra (S_a) from the horizontal vibrations were taken into account. It was stated that the influence of building structures on the form of the response spectra curve of relationship (ratio) can be observed. These differences are clearly more evident in the case of curves RRS (β) determined by use of non-dimension acceleration response spectra β than in the case of curves RRS (S_a) computed for the corresponding pairs of dimensional spectra S_a .

Słowa kluczowe:

wstrząsy górnicze, spektra odpowiedzi, budynek mieszkalny, drgania gruntu, drgania fundamentu, transmisja spektrów odpowiedzi

Key words:

mining tremors, response spectra, apartment building, ground vibrations, foundation vibrations, transmission of response spectra

1. Wprowadzenie

Wstrząsy pochodzenia górniczego charakteryzują się z reguły zdecydowanie większą intensywnością niż inne źródła drgań parasejsmicznych. Poza tym, chociaż należą do źródeł drgań obiektów powierzchniowych wywołanych przez działalność ludzi, występują poza kontrolą. Dodatkowo, jednocześnie powstające drgania gruntu obok budynku

i drgania fundamentu budynku mogą się zasadniczo różnić [6, 9, 14].

Z uwagi na to, że szkodliwość drgań górniczych dla budynków precyzyjniej można określić na podstawie przebiegów drgań ich fundamentów [8], ważną z praktycznego punktu widzenia jest ocena i prognozowanie transmisji drgań z gruntu na fundament obiektu, zwłaszcza wtedy, gdy dostępne są tylko pomierzone przebiegi drgań gruntu (np. na etapie projektowania budynku).

Najprostszym, często stosowanym sposobem oceny przekazywania drgań z gruntu na fundament budynku jest porów-

^{*)} Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie ^{**)} Politechnika Krakowska

nanie maksymalnych wartości jednocześnie zarejestrowanych drgań fundamentu budynku i gruntu obok budynku [2, 7, 12, 13]. Innym, bardziej zaawansowanym podejściem jest wykorzystanie w tym celu spektrów odpowiedzi – porównywanie krzywych spektrów odpowiedzi od jednocześnie mierzonych drgań gruntu i fundamentu budynku [6].

W niniejszej pracy zaproponowano modyfikację tej ostatniej metody, a mianowicie wyliczanie relacji (stosunku) spektrów odpowiedzi od drgań gruntu i fundamentów budynków (z j. ang. *ratio of response spectra*) RRS. Taki sposób oceny interakcji dynamicznej podłoże-budynek wykorzystywany jest w przypadku drgań wywołanych trzęsieniami ziemi [4, 5, 11].

Zasadniczym celem pracy była analiza wpływu typu budynku na relację (stosunek) RRS, opisującą transmisję spektrów odpowiedzi od drgań pochodzenia górniczego z gruntu na fundamenty. Rozważono trzy typy budynków mieszkalnych: niski, średniej wysokości i wysoki. Źródłem drgań były wstrząsy górnicze w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM). Porównywano relacje RRS wyznaczone w przypadku analizowanych typów konstrukcji budynków. Pod uwagę wzięto bezwymiarowe przyspieszeniowe spektra odpowiedzi od drgań poziomych (β), wyliczając $RRS(\beta)$, jak również odpowiednie spektra wymiarowe (S_a), wyliczając $RRS(S_a)$.

Wyniki badań dotyczących innego sposobu oceny różnic w przekazywaniu drgań z gruntu na fundamenty budynków o różnej konstrukcji – różnic w redukcji maksymalnych wartości przyspieszeń drgań mierzonych jednocześnie na gruncie i na fundamentach m. in. ww. budynków – przedstawiono we wcześniejszej pracy [7].

2. Zakres badań doświadczalnych

Wpływ typu budynku na transmisję spektrów odpowiedzi od drgań górniczych z gruntu na fundamenty badano w przypadku trzech budynków mieszkalnych o różnej konstrukcji: murowanego, niskiego (jednokondygnacyjnego), tradycyjnego domu jednorodzinnego; prefabrykowanego, wieloblokowego budynku średniej wysokości (o pięciu kondygnacjach); prefabrykowanego, wielopłytowego budynku wysokiego (o dwunastu kondygnacjach). Wszystkie trzy budynki są podpiwniczone, posadwione na ławach fundamentowych. Zarówno budynek średniej wysokości, jak i wysoki, mają poprzeczno-podłużny układ ścian nośnych. Oba te budynki składają się z oddylatowanych segmentów, a konstrukcja budynku wysokiego została dodatkowo wzmocniona przęsłami przylegającymi do ścian szczytowych, wykonanymi jako betonowe monolityczne. W niniejszej pracy literą N oznaczono budynek niski, literą S – budynek średniej wysokości, a literą W – budynek wysoki. Budynki N, S i W można traktować jako typowe na terenach górniczych w LGOM. W rozważaniach pominięto wpływ lokalnych właściwości podłoża na przekazywanie drgań z gruntu na budynek z uwagi na posadowienie budynków w obrębie jednego osiedla mieszkaniowego w bliskiej odległości od siebie oraz relatywnie jednorodną warstwę powierzchniową w obszarze występowania wstrząsów górniczych w LGOM pod względem wartości prędkości fali poprzecznej [3, 10].

Do analizy wzięto tylko przebiegi drgań od wstrząsów górniczych w LGOM, spełniające następujące warunki: źródłem drgań był wstrząs górniczy o energii nie mniejszej niż 10^6 J, a maksymalna wartość przyspieszeń zarejestrowanych przebiegów poziomych drgań gruntu wynosi co najmniej $0,1 \text{ m/s}^2$.

Analizowano przebiegi przyspieszeń drgań zarejestrowane równocześnie na gruncie obok budynku (czujniki pomiarowe na gruncie umieszczono w odległości kilku metrów od

budynku) i na fundamencie w każdym z budynków od wielu wstrząsów górniczych. Zainstalowana aparatura pomiarowa (monitoring) rejestruje drgania w paśmie częstotliwości od $0,5 \text{ Hz}$ do 100 Hz , a jej maksymalny zakres pomiarowy wynosi 3 m/s^2 . Pod uwagę wzięto dwie składowe drgań poziomych: x i y, równoległe odpowiednio do osi poprzecznej i podłużnej budynku. Przekazywanie drgań z gruntu na budynek rozważano osobno w kierunku x, osobno w kierunku y, oraz w obu kierunkach bez rozróżniania (x i y).

Liczbowe zestawienie analizowanych par jednocześnie mierzonych przebiegów przyspieszeń drgań gruntu i fundamentu rozważanych budynków podano w tablicy 1.

Tablica 1. Zestawienie liczbowe analizowanych par jednocześnie mierzonych przebiegów przyspieszeń drgań gruntu i fundamentu budynku

Table 1. Summary of the numbers of analysed pairs of simultaneously measured accelerations of vibrations of the ground and on the building foundation level

Budynek	Liczba par przebiegów przyspieszeń drgań: grunt – fundament budynku		
	kierunek x	kierunek y	łącznie kierunek x i y
N	56	55	111
S	103	102	205
W	88	93	181

Od wszystkich wziętych pod uwagę przebiegów przyspieszeń drgań gruntu i fundamentów budynków, wyliczono przyspieszeniowe spektra odpowiedzi – zarówno spektra bezwymiarowe β , jak i spektra wymiarowe S_a . W obliczeniach przyjęto ułamek tłumienia krytycznego $\xi = 3\%$ zgodnie z wynikami badań doświadczalnych tłumienia rozważanych typów budynków [1].

3. Transmisja spektrów odpowiedzi z podłoża gruntowego na fundamenty budynków różnego typu

Do oceny różnic w przekazywaniu drgań z gruntu na fundamenty rozważanych typów budynków pod uwagę wzięto bezwymiarowe przyspieszeniowe spektra odpowiedzi od drgań poziomych (β) oraz odpowiednie spektra wymiarowe (S_a) od jednocześnie rejestrowanych drgań gruntu obok budynku i fundamentu budynku.

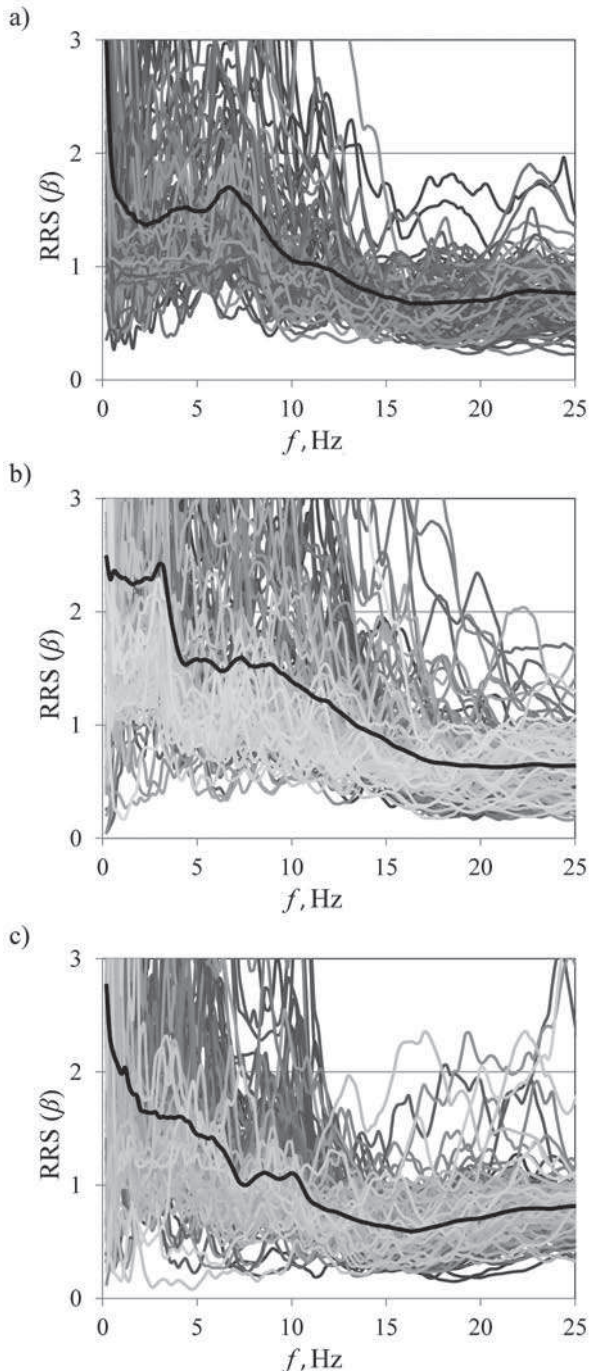
W przypadku każdej, wyznaczonej według powyższego klucza, pary spektrów odpowiedzi (grunt – fundament budynku), wyliczono relację (stosunek) RRS. I tak, w przypadku bezwymiarowych przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi (β) wykorzystywano wzór (3.1) do obliczenia $RRS(\beta)$, natomiast w przypadku wymiarowych przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi (S_a) – wzór (3.2) do obliczenia $RRS(S_a)$.

$$RRS(\beta) = \frac{\beta_f}{\beta_g} \quad (3.1)$$

$$RRS(S_a) = \frac{S_{af}}{S_{ag}} \quad (3.2)$$

gdzie:

$RRS(\beta)$, $RRS(S_a)$ – relacja (stosunek) opisująca transmisję spektrów odpowiedzi od drgań pochodzenia górniczego z gruntu na fundament budynku odpowiednio w przypadku przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi bezwymiarowych i wymiarowych,



Rys. 1. Relacje RRS (β) w pojedynczych przypadkach rozważanych wstrząsów górniczych oraz relacja RRS (β) uśredniona (czarna linia): a) budynek N; b) budynek S; c) budynek W
Fig. 1. Relation of RRS (β) in separate cases of mine-induced tremors as well as average relation RRS (β) (black line): a) building N; b) building S; c) building W

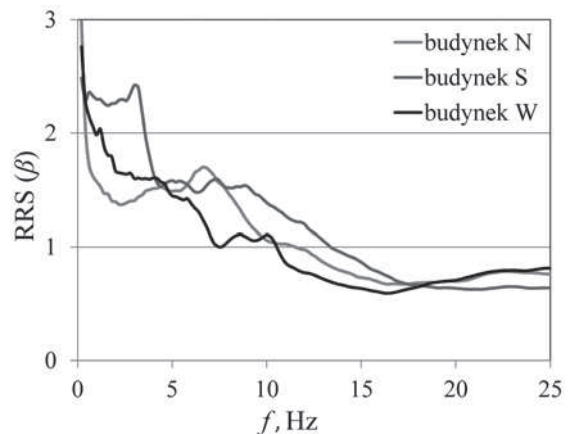
β_f, S_{af} – odpowiednio bezwymiarowe i wymiarowe przyspieszeniowe spektrum odpowiedzi od drgań fundamentu budynku,
 β_g, S_{ag} – odpowiednio bezwymiarowe i wymiarowe przyspieszeniowe spektrum odpowiedzi od drgań gruntu obok budynku.

Wykorzystując relacje RRS we wszystkich, pojedynczych wstrząsach górniczych, wyznaczano uśrednione relacje RRS

dla poszczególnych typów budynków w obu kierunkach drgań bez rozróżniania (x i y) oraz osobno w kierunku x i osobno w kierunku y.

Na rysunku 1 pokazano relacje RRS(β) dotyczące bezwymiarowych przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi β w pojedynczych przypadkach rozważanych wstrząsów górniczych oraz relacje RRS(β) uśrednione (czarna linia) dla budynków N, S i W. (rys. 2).

W przypadku wszystkich rozważanych typów budynków widać duży rozrzut relacji RRS(β) wyliczonych dla pojedynczych wstrząsów górniczych. Zakres (obwódnicia) tego rozrzutu jest zbliżony bez względu na to, którego budynku dotyczy. Również niezależnie od wziętych pod uwagę konstrukcji budynków (N, S, W), rozrzut wartości RRS(β) jest mniejszy w zakresie wyższych częstotliwości (f [Hz]) – od ok. 12 Hz, niż w zakresie częstotliwości niższych.



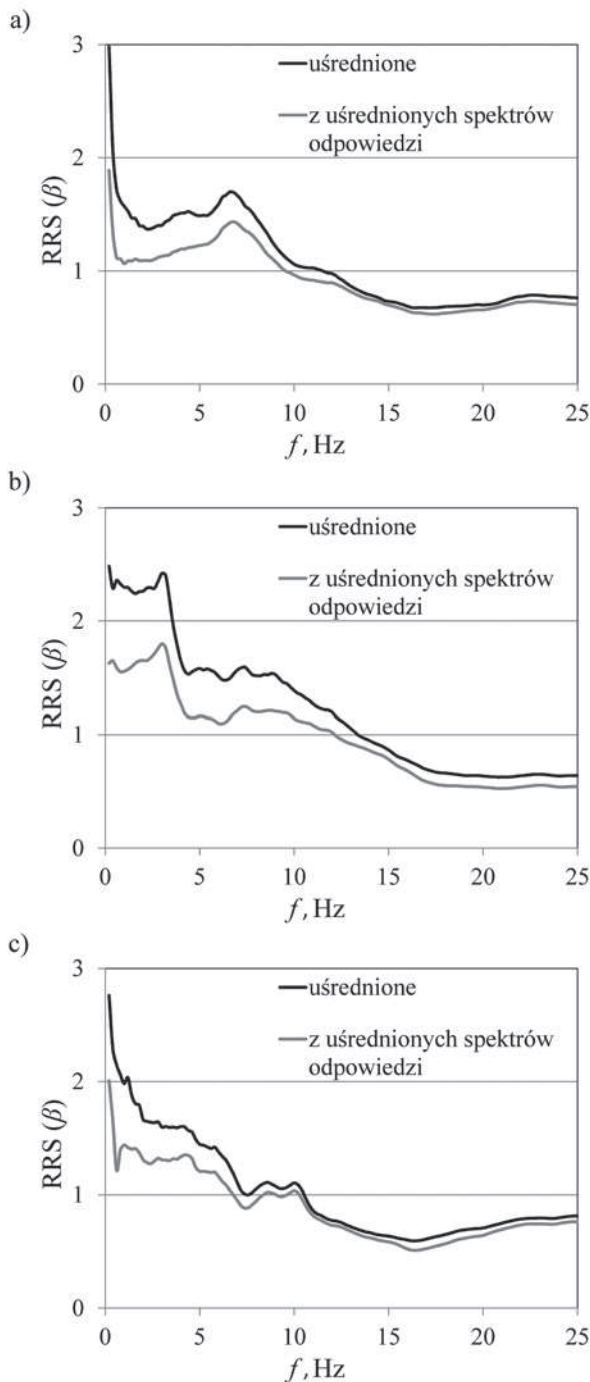
Rys. 2. Uśrednione relacje RRS (β)
Fig. 2. Average relations RRS (β)

Uśrednione relacje RRS(β) sporządzone dla budynków reprezentujących odpowiednio klasę budynków niskich (N), średniej wysokości (S) i wysokich (W), dodatkowo porównano na rys. 2.

Można zauważyć istotne różnice w uśrednionych krzywych RRS(β) wyznaczonych w przypadkach budynków N, S, W, zwłaszcza w zakresie częstotliwości ważnym z praktycznego punktu widzenia, a mianowicie w zakresie częstotliwości stosunkowo niskich – wartości częstotliwości bliskich częstotliwościom drgań własnych rozważanych budynków (do ok. 5 Hz). Przykładowo, dla częstotliwości $f=3$ Hz, wartości RRS(β) wynoszą odpowiednio: budynek N – RRS(β) = 1,4; budynek S – RRS(β) = 2,4; budynek W – RRS(β) = 1,6. Z kolei dla częstotliwości około 5 Hz, te różnice są minimalne.

Krzywe z rys. 2 wyraźnie potwierdzają znane zjawisko w interakcji dynamicznej podłoże-budynek – wszystkie analizowane budynki „pracują jak filtr dolnoprzepustowy” (przy transmisji drgań z podłoża gruntowego na budynek tłumią drgania gruntu z wyższymi częstotliwościami).

Warto zauważyć, że uśrednione wykresy RRS(β) uzyskane jako średnie z pakietu krzywych RRS(β) wyznaczonych dla poszczególnych wstrząsów (por. rys. 1), różnią się od odpowiednich krzywych, które sporządzono na podstawie uśrednionych spektrów odpowiedzi. Takiego porównania dokonano na rysunku 3 w przypadku każdego z rozważanych budynków: N, S, W. Wprawdzie kształty wykresów RRS(β) wyznaczonych tymi dwoma sposobami, bez względu na typ budynku, są zbliżone, ale występują istotne różnice w wartościach RRS(β) w zakresie niskich częstotliwości, a więc ważnych z praktycznego punktu widzenia. Oczywiście

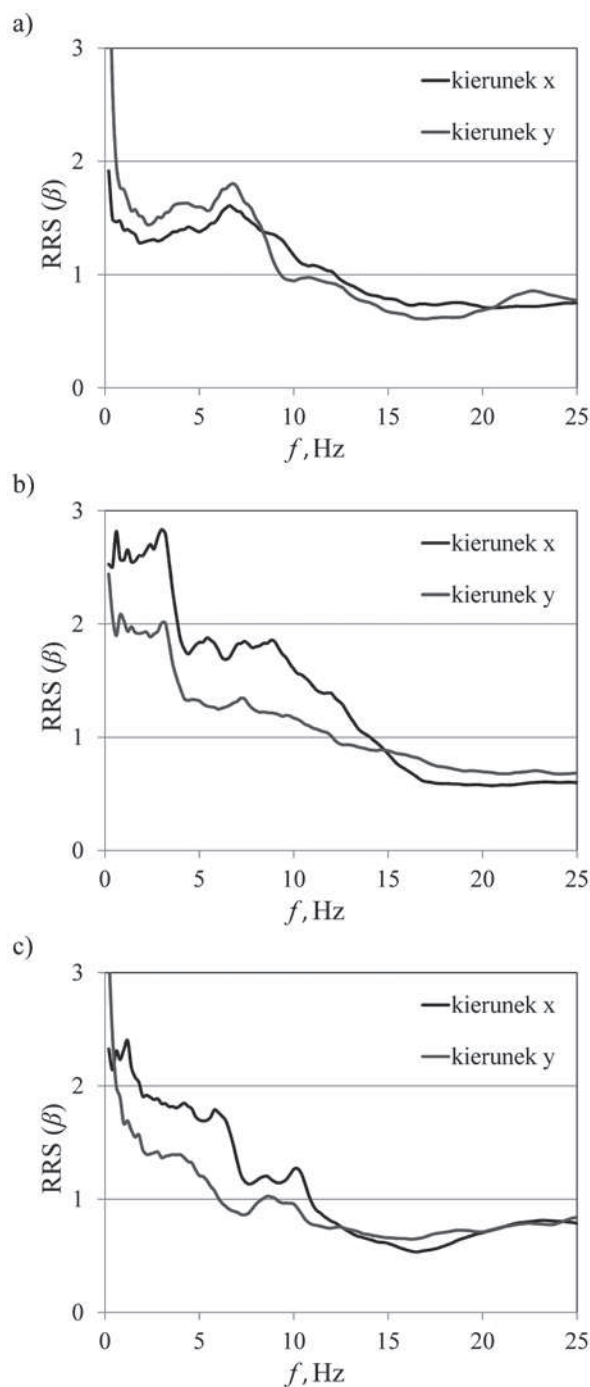


Rys. 3. Porównanie uśrednionych wykresów $RRS(\beta)$ z odpowiednimi krzywymi wyznaczonymi na podstawie uśrednionych spektrów odpowiedzi β : a) budynek N; b) budynek S; c) budynek W

Fig. 3. Comparison of average $RRS(\beta)$ with the corresponding graph obtained on the basis of the average response spectra β : a) building N; b) building S; c) building W

z podstaw matematyki wynika, że stosując ww. dwa sposoby wyznaczania wykresu $RRS(\beta)$, tego typu różnic należało się spodziewać. Niemniej jednak, na rysunku 3 pokazano, jak duże mogą być te różnice. Widać, że w przypadku wszystkich typów budynków wartości ułamków $RRS(\beta)$ wyznaczone na podstawie uśrednionych bezwymiarowych spektrów odpowiedzi są zaniżone w stosunku do odpowiednich wartości wyliczonych jako średnie ze stosunków $RRS(\beta)$ otrzymanych osobno w przypadku każdego wstrząsu.

Z kolei na rysunku 4 porównano relacje $RRS(\beta)$ uśrednione osobno w kierunkach x i y i równoległych do osi poprzecznej i podłużnej każdego z rozważanych budynków: N, S, W. Można stwierdzić, że w przypadku wszystkich typów budynków występują pewne różnice w odpowiednich wartościach $RRS(\beta)$ obliczonych niezależnie w każdym z kierunków drgań. Niemniej jednak skala tych różnic zależy od rodzaju budynku. Są one zdecydowanie największe w budynku średniej wysokości (S), nieco mniejsze w budynku wysokim (W), a najmniej widoczne w budynku niskim (N).



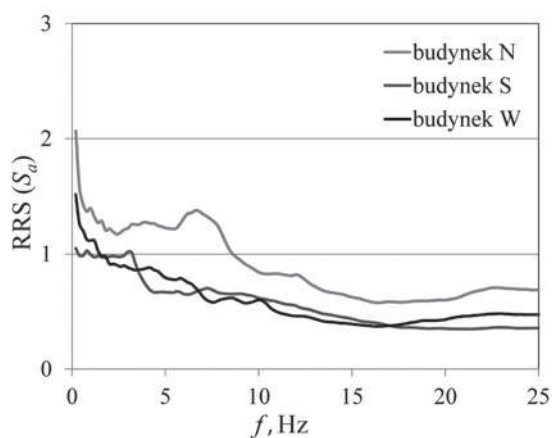
Rys. 4. Porównanie relacji $RRS(\beta)$ wyliczonych osobno w kierunku x i y: a) budynek N; b) budynek S; c) budynek W

Fig. 4. Comparison of the relation of $RRS(\beta)$ separately computed in x and y direction: a) building N; b) building S; c) building W

Analogiczne badania wpływu typu budynku na wartości RRS, jak w przypadku relacji $RRS(\beta)$ dotyczących bezwymiarowych przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi β , przeprowadzono biorąc również pod uwagę wymiarowe przyspieszeniowe spektra odpowiedzi S_a , a więc odpowiednie relacje $RRS(S_a)$. Wyniki tych analiz zamieszczono na rysunku 5 i rysunku 7.

Dodatkowo porównywano odpowiednie wartości relacji $RRS(\beta)$ i $RRS(S_a)$. Ze względu na wygodę tego typu zestawień, zachowano na rysunkach 5, 7 zakres wartości na osiach RRS wykresów taki jaki był na rysunkach 1 i 4 (do 3).

Można zauważyć, że generalnie w przypadku wszystkich rozważanych typów budynków, wartości uśrednionych stosunków $RRS(S_a)$ są istotnie mniejsze (przy czym szczególnie wyraźnie w przedziale niższych częstotliwości) od odpowiednich wartości $RRS(\beta)$, por. np. rysunek 2 i rysunek 5. Następuje zdecydowanie większa redukcja rzędnych spektrów odpowiedzi S_a w porównaniu ze spektrami odpowiedzi β .



Rys. 5. Uśrednione relacje $RRS(S_a)$
 Fig. 5. Average relations $RRS(S_a)$

O ile uśrednione krzywe $RRS(\beta)$ pokazane na rys. 2 są wyraźnie różne dla każdego z rozważanych rodzajów budynków, o tyle różnice w analogicznych krzywych $RRS(S_a)$ otrzymanych w przypadku budynku S i budynku W są stosunkowo małe. Tylko transmisja wymiarowych spektrów odpowiedzi S_a z gruntu na fundament budynku niskiego (N), wyrażona poprzez stosunek $RRS(S_a)$, ma inny charakter, co widać z porównania wykresów $RRS(S_a)$ (rys. 5).

Również niewielkie w porównaniu do analogicznych wyników otrzymanych w odniesieniu do relacji $RRS(\beta)$ (rys. 3) są rozbieżności między uśrednionymi wykresami $RRS(S_a)$, a odpowiednimi krzywymi wyznaczonymi na podstawie uśrednionych spektrów odpowiedzi S_a (rys. 6).

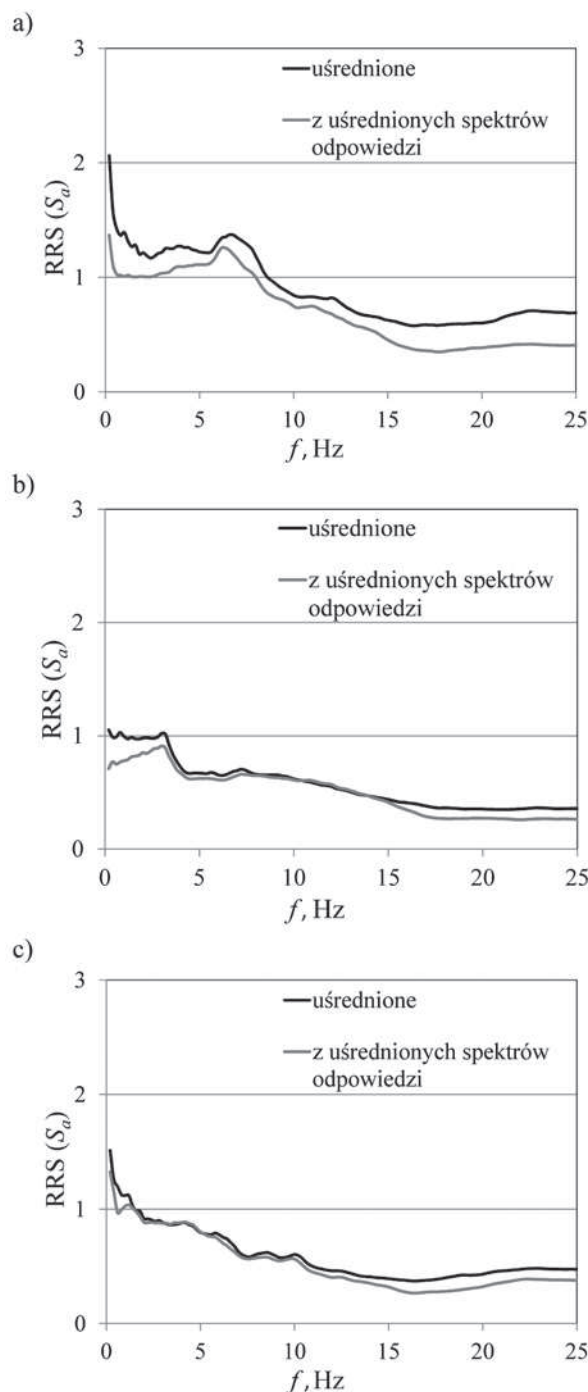
Praktycznie w przypadku budynku średniej wysokości (S) i budynku wysokiego (W) nie są one znaczące, a w przypadku budynku wysokiego można byłoby je wręcz uznać za zanedbywalnie małe. Nieco większe różnice widać w wynikach uzyskanych dla budynku niskiego.

Do odmiennych wniosków niż te odnoszące się do porównań uśrednionej relacji $RRS(\beta)$ wyznaczonej osobno w każdym z kierunków drgań równoległych do osi x i y budynków (rys. 4), prowadzi analiza analogicznych wykresów $RRS(S_a)$ przedstawionych na rysunku 7.

I tak, w przypadku transmisji wymiarowych przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi S_a z gruntu na fundament budynku, największe różnice w odpowiednich wartościach $RRS(S_a)$ wyznaczonych odrębnie w każdym z kierunków drgań, obserwuje się w budynku niskim (N), podczas gdy

analogiczne różnice w $RRS(\beta)$ w tym budynku były mniejsze niż w budynku średniej wysokości i w budynku wysokim.

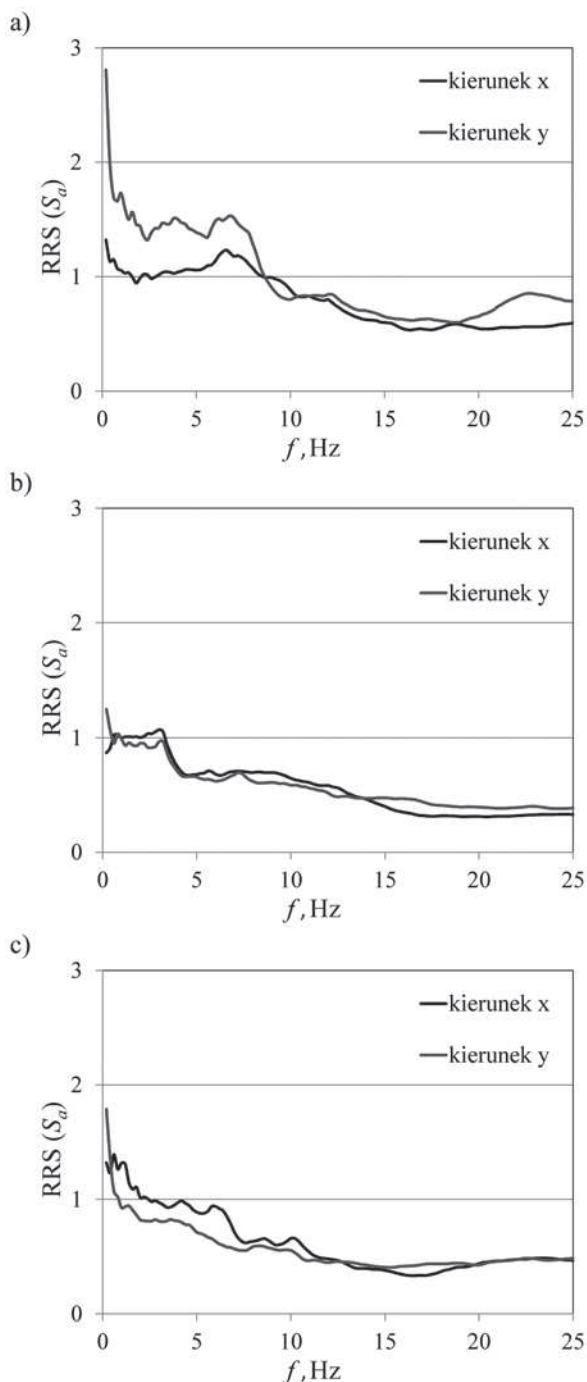
W przypadku budynku średniej wysokości, w przeciwieństwie do stwierdzonej na podstawie rysunku 4 relacji wartości $RRS(\beta)$ obliczonych dla kierunku x oraz kierunku y, w odpowiednich wartościach $RRS(S_a)$ wyznaczonych w kierunku x i y praktycznie nie widać różnic (por. rys. 7).



Rys. 6. Porównanie uśrednionych wykresów $RRS(S_a)$ z odpowiednimi krzywymi wyznaczonymi na podstawie uśrednionych spektrów odpowiedzi S_a : a) budynek N; b) budynek S; c) budynek W

Fig. 6. Comparison of average $RRS(S_a)$ with the corresponding graph obtained on the basis of the average response spectra S_a : a) building N; b) building S; c) building W

Charakter i wartość różnic w przekazywaniu drgań z gruntu na fundament budynku wysokiego w kierunkach x i y są takie same bez względu na to, czy ocenę prowadzi się z użyciem stosunku RRS (β), czy RRS(S_a) (por. rys. 4 i rys. 7).



Rys. 7. Porównanie relacji RRS (S_a) wyliczonych osobno w kierunku x i y: a) budynek N;

b) budynek S; c) budynek W

Fig. 7. Comparison of the relation of RRS (S_a) separately computed in x and y direction: a) building N; b) building S; c) building W

4. Podsumowanie

Z badań doświadczalnych w zakresie wpływu konstrukcji budynku mieszkalnego na przekazywanie drgań pochodzenia górniczego opisanych za pomocą spektrów odpowiedzi, z gruntu na fundamenty wynika, że typ budynku może mieć istotne znaczenie przy tym przekazywaniu.

Różnice te są wyraźniej widoczne w przypadku krzywych RRS(β) wyznaczonych z użyciem bezwymiarowych przyspieszeniowych spektrów odpowiedzi β , niż w przypadku krzywych RRS(S_a) obliczanych dla analogicznych par spektrów wymiarowych S_a .

Warto podkreślić, że zarówno relacja RRS(β), jak i RRS(S_a) pozwalają na wygodną, klarowną ocenę przekazywania drgań pochodzenia górniczego z gruntu na fundamenty budynków różnego typu.

Literatura

1. Ciesielski R., Kuźniar K., Maciąg E., Tatara T.: Damping of vibration in precast buildings with bearing concrete walls, Arch. Civ. Eng. 41, 3, 1995, 329÷341.
2. Ciesielski R., Maciąg E.: Drgania drogowe i ich wpływ na budynki, Wyd. Kom. i Łącz., Warszawa 1990.
3. Dubiński J., Lurka A., Stec K.: Badanie zależności pomiędzy radiacją sejsmiczną a mechanizmem ognisk wstrząsów górotworu na podstawie rejestracji sejsmologicznych i sejsmometrycznych. WARSZTATY 2006 z cyklu: Zagrożenia naturalne w górnictwie, Kraków 2006, 65÷77.
4. FEMA 440, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, ATC-55 Project, 2005.
5. Kim S., Stewart J.P.: Kinematic soil-structure interaction from strong motion recordings, Journal Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 129, 4, 2003, 323÷335.
6. Kuźniar K., Maciąg E., Tatara T.: Acceleration response spectra from mining tremors. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (ECEES), Geneva 2006, Switzerland, Abstract Book, 466÷467 (full paper on CD) 2006.
7. Kuźniar K., Tatara T.: Przekazywanie drgań od wstrząsów górniczych z gruntu na fundamenty budynków różnego typu. Przegląd Górniczy 6, 2014, 30÷34.
8. Maciąg E.: Ocena szkodliwości wstrząsów górniczych dla budynków na podstawie drgań ich fundamentów czy gruntu? Inżynieria i Budownictwo 12, 2005, 670÷677.
9. Maciąg E.: Interakcja układu budynek-podłoże gruntowe w świetle doświadczalnego badania drgań parasejsmicznych. Inżynieria Morska i Geotechnika 4, 2006, 240÷250.
10. Mutke G., Muszyński L., Lurka A., Siata R., Logiewa H., Musiał M., Byrczek B.: Sprawdzenie i ocena prawidłowości prowadzonych przez ZG «Rudna» pomiarów drgań powierzchni pochodzących od wstrząsów górniczych, Raport GIG 421627 2001, 19÷123.
11. NIST GCR 12-917-21, Soil-Structure Interaction for Building Structures, prepared by NEHRP Consultants Joint Venture (a partnership of the Applied Technology Council and the Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering), 2012.
12. Stypuła K.: Drgania mechaniczne wywołane eksploatacją metra płytkiego i ich wpływ na budynki, Zeszyty Nauk. Politechniki Krakowskiej, seria Inż. Łąd., 72 2001.
13. Tatara T.: Działanie drgań powierzchniowych wywołanych wstrząsami górniczymi na niską tradycyjną zabudowę mieszkalną, Zeszyty Nauk. Politechniki Krakowskiej, seria Inż. Łąd., 74, 2002.
14. Tatara T.: Odporność dynamiczna obiektów budowlanych w warunkach wstrząsów górniczych, Wydawnictwo PK, Kraków 2012.