

OCENA WPŁYWU DRGAŃ KOMUNIKACYJNYCH NA KONSTRUKCJĘ BUDYNKU ORAZ KOMFORT MIESZKAŃCÓW

Dariusz Łaska*, Jarosław Bęc**

* Politechnika Lubelska, absolwent Wydziału Budownictwa i Architektury
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, e-mail: dariusz.laska@onet.pl

** Politechnika Lubelska, Katedra Mechaniki Budowli
ul. Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, e-mail: j.bec@pollub.pl

Streszczenie: W niniejszej pracy przedstawiono analizę wpływu drgań komunikacyjnych na konstrukcję budynku mieszkalnego jednorodzinne oraz na komfort przebywających w nim ludzi. Przeprowadzono pomiary przyspieszeń rzeczywistej konstrukcji i dokonano porównania z wartościami dopuszczalnymi wyznaczonymi według odpowiednich przepisów normowych. Dodatkowo przeprowadzono dynamiczną analizę numeryczną w celu zbadania wpływu odległości lokalizacji budynku względem krawędzi drogi na amplitudy drgań przekazywanych na budynek i odczuwanych przez przebywających w nim ludzi.

Słowa kluczowe: wpływy parasejsmiczne, drgania komunikacyjne, komfort mieszkańców.

1. ZARYS ANALIZOWANEGO PROBLEMU

Poniższa praca ma na celu dokonanie oceny, w jakim stopniu drgania komunikacyjne spowodowane degradacją nawierzchni drogi krajowej numer 19, wpływają na budynki zlokalizowane w jej pobliżu oraz na osoby w nich mieszkające. Wspomniana droga od dziesięcioleci nie doczekała się remontu, który dostosowałby jej parametry wytrzymałościowe do poziomu ruchu kołowego jaki obecnie się na niej odbywa. Na podstawie wykonanych pomiarów drgań dokonano oceny wpływu drgań zarówno na konstrukcję badanego budynku, jak również na komfort ludzi biernie je odbierających. Wszystkie procedury zawarte w pracy są zgodne z obecnie obowiązującymi normami ([3], [4]) i pozwalają jednoznacznie określić wpływy występujących drgań na obiekty, które je odbierają. Oprócz analizy wpływu drgań na obiekty już istniejące, przedstawiono również analizę numeryczną

wpływu odległości posadowienia projektowanego budynku od źródła występowania drgań komunikacyjnych.

2. DIAGNOSTYKA DYNAMICZNA

Diagnostyka jest to ogół czynności i czynników potrzebnych do postawienia diagnozy [2]. W diagnostyce istotny jest nie tylko opis stanu, ale także przyczyny jego wystąpienia. Stąd wynika określenie diagnostyki jako skutkowo-przyczynowej, w wyniku której ekspert udziela odpowiedzi na pytanie: czy występuje związek przyczynowo-skutkowy między oddziaływaniami a stanem technicznym obiektu? Jeśli wśród oddziaływań występują wielkości dynamiczne (zmiennie w czasie), to diagnostyka taka jest określona jako dynamiczna.

Cel diagnostyki dynamicznej obiektu budowlanego można podzielić na trzy podstawowe części [1]:

Określenie cech dynamicznych konstrukcji.

Określenie wszystkich cech, które mają na celu dynamicznie scharakteryzować budynek tj. określenie podstawowej częstości drgań własnych konstrukcji (lub spektrum drgań własnych), odpowiadających im postaci drgań oraz określenie wartości tłumienia drgań przez budynek.

Monitorowanie nieprzekraczania pewnych wyznaczonych granic, takich jak: przemieszczeń dynamicznych, czy określonych efektów dynamicznych w postaci rezonansu.

Kompleksowa diagnoza skutków działań dynamicznych, obejmujących powiązanie przyczyn ze skutkami, jest odpowiedzią na zadane obciążenie. Powyższa diagnoza ma dać odpowiedź na pytanie, czy możliwe jest wystąpienie pewnych zjawisk niebezpiecznych dla badanej konstrukcji. Szczególnie ważne jest stwierdzenie, czy obiekt może się

znajdować w rezonansie z obciążeniem dynamicznym, oraz czy poziom występujących drgań znajduje się poniżej dolnej granicy: odczuwalności, szkodliwości, technologicznie dopuszczalnej. Ważnym aspektem tego zagadnienia jest także określenie wpływu wyznaczonych odpowiedzi dynamicznych budynku, na komfort osób w nim przebywających lub mieszkających. Bardzo często zdarza się, że czynnikiem decydującym, o tym czy dane obciążenie dynamiczne zawiera się w poziomach dopuszczalnych, jest przekroczenie granicy wpływu na człowieka, a nie na konstrukcję badanego obiektu.

Określenie stanu uszkodzeń obiektu wywołanych obciążeniami dynamicznymi.

Ocena stanu ewentualnych uszkodzeń, zaistniałych lub prognozowanych, obiektu poddanego działaniu wymuszania dynamicznego.

3. ANALIZA SZKODLIWOŚCI DRGAŃ NA PODSTAWIE POMIARÓW

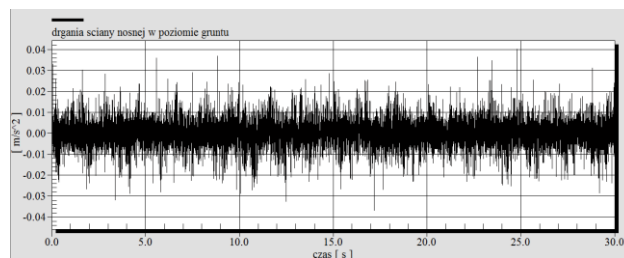
Konstrukcja badanego budynku została wykonana w technologii tradycyjnej. Budynek ma trzy kondygnacje oraz poddasze użytkowe. Ściany budynku są wykonane z pustaków ceramicznych, natomiast stropy – z różnych materiałów. Strop nad najniższą kondygnacją składa się z elementów prefabrykowanych stropów żerańskich, strop nad pierwszym piętrzem jest typu Ackerman, natomiast strop najwyższej kondygnacji jest drewniany.

Ocena szkodliwości drgań na budynek została wykonana zgodnie z wytycznymi normy [3]. Wszystkie pomiary zostały wykonane dla poziomych składowych drgań ścian nośnych (na poziomie gruntu) istniejącego budynku. Natomiast wpływ drgań na osoby mieszkające w budynku został oceniony na podstawie porównania zarejestrowanych wartości skorygowanych przyspieszeń drgań z wartościami dopuszczalnymi zawartymi w normie [4]. Pomiary wykonano dla stropu najwyższej kondygnacji, w wybranych punktach w których następuje odbiór drgań przez osoby przebywające i mieszkające w budynku. Pomiary prowadzono dla składowych pionowych i poziomych drgań.

Wszystkie wyżej opisane badania wykonano przy użyciu dwóch akcelerometrów podłączonych do analizatora sygnałów HBM SPIDER 8. Rejestrację sygnałów prowadzono przy wykorzystaniu komputera, do którego podłączono analizator sygnałów.

3.1. Pomiar drgań ściany nośnej na poziomie gruntu

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy zapis zarejestrowanych wielkości przyspieszeń drgań ściany nośnej budynku na poziomie gruntu.



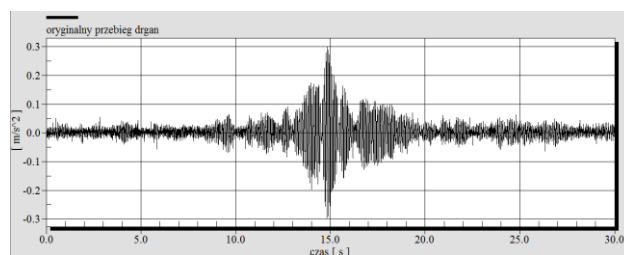
Rys. 1. Przykładowy przebieg przyspieszeń na poziomie gruntu.
Fig. 1. Exemplary time series of accelerations at the ground level.

Po przeanalizowaniu uzyskanych zapisów drgań (wibrogramów) można stwierdzić, że pomierzone wartości przyspieszeń drgań budynku w miejscu pomiaru nie przekroczyły wartości 0,005g. W świetle zapisów normowych [3], powyższa sytuacja zezwala na pominięcie wpływu sił bezwładności na konstrukcję budynku. Zatem, można stwierdzić, iż drgania komunikacyjne, którym jest poddany badany budynek, nie mają istotnego wpływu na jego konstrukcję.

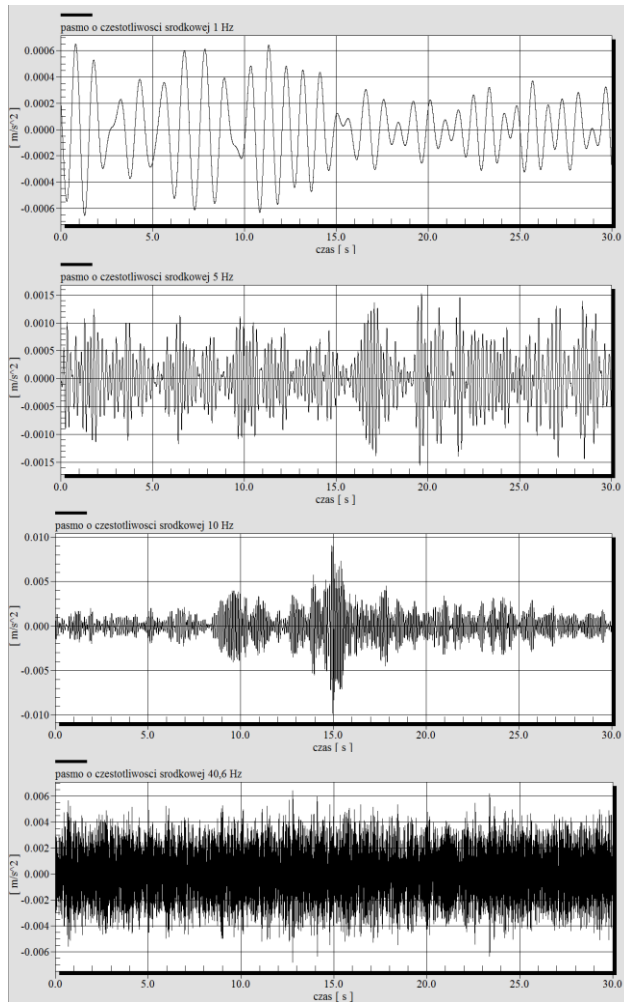
3.2. Pomiar drgań stropu najwyższej kondygnacji

W świetle zapisów normy [4] ocenę wpływu drgań na osoby znajdujące się lub mieszkające w badanym obiekcie, należy przeprowadzić dla wartości amplitud drgań mierzonych w punktach przenoszenia się drgań z konstrukcji na człowieka. Zgodnie z powyższym wymogiem ustalono punkty pomiarowe na stropie najwyższej kondygnacji. W czasie pomiaru mierzono wartości przyspieszeń drgań w kierunkach pionowym i poziomym. Uzyskane wibrogramy poddano następnie filtrowaniu.

Na rysunku 2 zaprezentowano wybrany, 30 sekundowy, fragment zarejestrowanego wibrogramu, a na rysunku 3 ten sam fragment po filtracji wybranymi filrami pasmowymi. Zarejestrowany przebieg jest zapisem składowej pionowej przyspieszenia drgań mierzonych na stropie najwyższej kondygnacji.



Rys. 2. Przykładowy przebieg przyspieszeń na stropie najwyższej kondygnacji.
Fig. 2. Exemplary time series of accelerations at the ceiling of the highest story.



Rys. 3. Przykładowy przebieg przyspieszeń na stropie najwyższej kondygnacji poddany filtracji pasmowej.

Fig. 3. Exemplary time series of accelerations at the ceiling of the highest story after band-pass filtering.

3.3. Ocena wpływu drgań na osoby mieszkające w budynku

Z przefiltrowanych przebiegów drgań wyselekcjonowano dla każdego pasma maksymalne wartości przyspieszeń, które następnie skorygowano za pomocą współczynnika k_f , którego wartość podano w normie [4].

Ocenę wpływu drgań na podstawie pomiaru wartości skorygowanej, dokonano poprzez porównanie zmierzonych wartości skorygowanych przyspieszenia a_k z odpowiednimi wartościami dopuszczalnymi a_{kdop} dla danego kierunku:

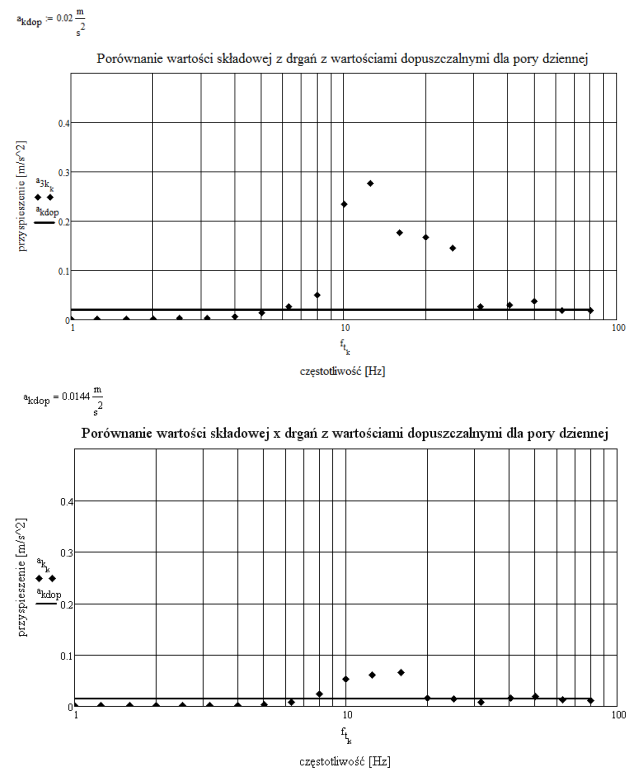
$$a_k \leq a_{kdop} \quad (1)$$

Skorygowane wartości dopuszczalne drgań wyznaczono z zależności (2).

$$a_{kdop} = a_{k1} n \quad (2)$$

Wartości przyspieszeń a_{k1} (odpowiadające progowi odczuwalności przez człowieka) zgodnie z tabelą 2 normy [4] przyjmują następujące wartości: dla kierunku odbioru pionowego $0,005 \text{ m/s}^2$, dla kierunku odbioru poziomego $0,0036 \text{ m/s}^2$. Wartość współczynnika n , zależnego od pory dnia, przeznaczenia pomieszczenia oraz od długotrwałości drgań, ustalono na podstawie tabeli 5 normy [4], przy założeniu, że jest to budynek mieszkalny przy powtarzalności drgań o krotności większej niż 10 razy na dobę. Zgodnie z przyjętym założeniem współczynnik n ma następujące wartości: dla drgań występujących w dzień $n = 4$, dla drgań nocnych $n = 1,4$. Zatem wartości dopuszczalne przyspieszenia drgań ustalono na następujących poziomach:

- 1) dla składowych pionowych drgań występujących w czasie dnia $a_{kdop} = 0,02 \text{ m/s}^2$,
- 2) dla składowych poziomych drgań występujących w czasie dnia $a_{kdop} = 0,0144 \text{ m/s}^2$,
- 3) dla składowych pionowych drgań nocnych $a_{kdop} = 0,007 \text{ m/s}^2$,
- 4) dla składowych poziomych drgań nocnych $a_{kdop} = 0,005 \text{ m/s}^2$.



Rys. 4. Porównanie skorygowanych wartości przyspieszeń zarejestrowanych na stropie z wartościami dopuszczalnymi.

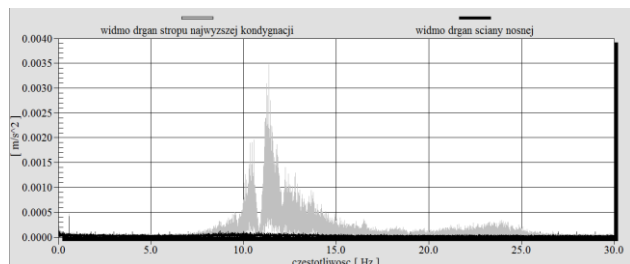
Fig. 4. Comparison of the corrected accelerations measured the ceiling of the highest story and the allowable values.

Na rysunku 4 przedstawiono wykresy skorygowanych wartości zmierzonego przyspieszenia stropu (wartości punktowe na wykresie), w zależności od częstotliwości dla których występują, porównane z wartościami dopuszczalnymi dla pory dziennej (linia ciągła). W każdym z czterech rozpatrywanych przypadków (zarówno dla pory dziennej, jak i nocnej), są przekroczone wartości dopuszczalne drgań odbieranych biernie przez człowieka.

Częstotliwościami, dla których zarejestrowano największe przekroczenia dopuszczalnych wartości, są:

- dla kierunku pionowego drgań: od 8 Hz do 30 Hz,
- dla kierunku poziomego drgań: od 8 Hz do 20 Hz.

Na rysunku 5 przedstawiono nałożone na siebie, przykładowe charakterystyki widmowe dla jednego z punktów pomiarowych na stropie najwyższej kondygnacji i ściany nośnej na poziomie gruntu. Porównanie poniższych spektrów pozwala na sformułowanie wniosku, że drgania pochodzące od wpływów komunikacyjnych zostają istotnie wzmocnione w wyniku rezonansu.



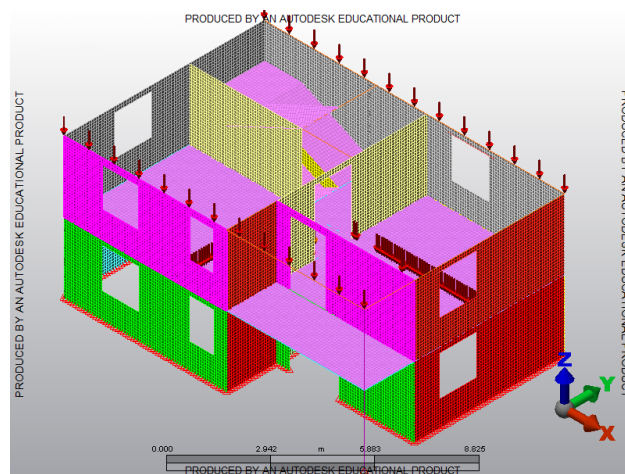
Rys. 5. Porównanie spektrów przyspieszeń.
Fig. 5. Comparison of the acceleration spectra.

4. ANALIZA NUMERYCZNA ZALEŻNOŚCI ODLEGŁOŚCI BUDYNKU OD ŹRÓDŁA DRGAŃ

W rozdziale tym podjęto próbę określenia w jakim stopniu drgania komunikacyjne oddziaływałyby na projektowany budynek, przy założeniu trzech różnych jego lokalizacji. Jako pierwszą lokalizację przyjęto odległość 5 m, drugą 10 m, zaś trzecią 15 m od krawędzi jezdni. We wszystkich z wyżej wymienionych lokalizacji, zgodnie z zaleceniami normy [3], zbadano poziomy drgań gruntu w kierunkach pionowym i poziomym.

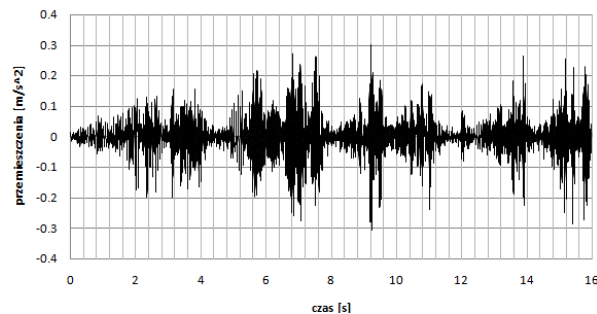
Do dalszych analiz przyjęto budynek dwu kondygnacyjny projektowany w technologii tradycyjnej. Założono ściany z betonu komórkowego klasy 700 o grubości 24 cm, stropy zaś monolityczne z betonu B20 o grubości 16 cm. Wymiary budynku to 8 m szerokości, 12 m długości, 5,6 m wysokości konstrukcji muru + 5,5 m wysokość dachu. Do celów projektowych założono masy skupione, odpowiadające konstrukcji dachu wraz z pokryciem, w planowanych miejscach oparcia krokwi. W miejscach wykonania planowanych ścian działowych zamodelowano również odpowiednie masy skupione. Na rysunku 6 przedstawiono

model powyższego domu wykonany w programie Autodesk Algor Simulation Professional 2011 – STUDENT VERSION.



Rys. 6. Model numeryczny analizowanego budynku.
Fig. 6. Numerical model of the analyzed building.

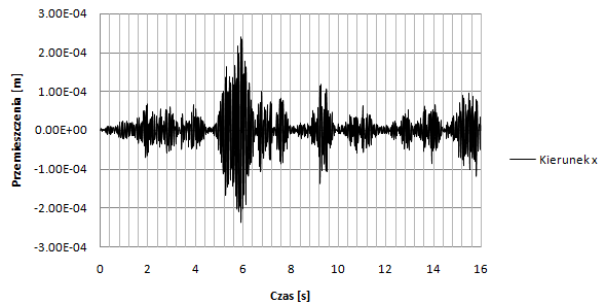
Parametrami opisującymi reakcję projektowanego budynku, jak już wcześniej wspomniano, są przemieszczenia poszczególnych elementów konstrukcyjnych wywołane drganiami parasejsmicznymi rejestrowanymi w odległościach 5 m, 10 m oraz 15 m od krawędzi jezdni. Z uzyskanych pomiarów wyselekcjonowano te, które charakteryzują się największymi amplitudami. Następnie tak zamodelowano krzywą obciążenia dynamicznego aby odpowiadała drganiom wywołanym przez przejazd rządu pojazdów. Krzywe obciążenia zamodelowano dla kierunku pionowego i poziomego w każdej z trzech analizowanych lokalizacji budynku. Na rysunku 7 przedstawiono jedną z zamodelowanych krzywych obciążenia parasejsmicznego.



Rys. 7. Krzywa obciążenia dla lokalizacji 5 m od krawędzi jezdni – składowa pozioma.
Fig. 7. Load curve for the source of vibration located at the distance of 5 m from the building – horizontal component.

Norma [3] zaleca obciążenie projektowanego budynku siłami bezwładności powstającymi na skutek działania

wymuszenia. Można także obciążać badaną konstrukcję bezpośrednio pomierzonymi wartościami przyspieszenia drgań gruntu. W niniejszej pracy wybrano ten właśnie sposób przyłożenia obciążenia parasejsmicznego.



Rys. 8. Przebieg przemieszczeń punktu na stropie nad II kondygnacją od wymuszenia zlokalizowanego w odległości 5 m od budynku.

Fig. 8. Time series of displacements at the ceiling over the 2nd story generated by the vibrations source located 5 m from the building.

Maksymalne przemieszczenia konstrukcji nie nastąpiły przy największych przemieszczeniach drgań gruntu. Maksymalne wartości przemieszczeń dla drgań gruntu obserwowano dla około 7 s, natomiast maksymalne przemieszczenia analizowanego punktu wystąpiły już w 6 s badanego przebiegu. Niewątpliwie zaobserwowane zjawisko jest związane z częstotliwościami rezonansowymi konstrukcji budynku. Jako że krzywa obciążenia jest złożona z bardzo wielu przebiegów o różnych częstotliwościach, prawdopodobnie przebiegi o mniejszych wartościach przyspieszeń rozchodziły się z częstotliwościami pokrywającymi się z częstotliwościami rezonansowymi budynku. Dlatego też nawet mniejsze wartości przyspieszeń spowodowały duże przemieszczenia konstrukcji.

Tabela 1. Amplitudy przemieszczeń poziomych otrzymanych w dynamicznej analizie numerycznej przy różnych lokalizacjach budynku względem źródła drgań.

Table 1. Amplitudes of the horizontal displacements obtained from dynamic numerical simulation with various distance of the building in relation to the vibrations source.

Nr pkt	Przemieszczenia (x) [m]			
	ciężar własny	wymuszenie 5 m	wymuszenie 10 m	wymuszenie 15 m
1	$4,23 \cdot 10^{-6}$	$3,51 \cdot 10^{-5}$	$1,69 \cdot 10^{-5}$	$1,54 \cdot 10^{-5}$
2	$2,48 \cdot 10^{-6}$	$5,74 \cdot 10^{-5}$	$2,45 \cdot 10^{-5}$	$2,57 \cdot 10^{-5}$
3	$6,67 \cdot 10^{-6}$	$3,48 \cdot 10^{-5}$	$1,64 \cdot 10^{-5}$	$1,53 \cdot 10^{-5}$
4	$4,76 \cdot 10^{-6}$	$2,71 \cdot 10^{-5}$	$1,28 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-5}$
5	$6,13 \cdot 10^{-6}$	$2,10 \cdot 10^{-5}$	$8,66 \cdot 10^{-6}$	$1,18 \cdot 10^{-5}$
6	$1,20 \cdot 10^{-5}$	$4,53 \cdot 10^{-5}$	$1,98 \cdot 10^{-5}$	$1,85 \cdot 10^{-5}$

Tabela 2. Porównanie amplitud przemieszczeń poziomych otrzymanych w dynamicznej analizie numerycznej z przemieszczeniami pochodzącymi od ciężaru własnego przy różnych lokalizacjach budynku względem źródła drgań.

Table 2. Comparison of the amplitudes of the horizontal displacements obtained from dynamic numerical simulation with displacements generated by dead-weight only for various distance of the building in relation to the vibrations source.

Nr pkt	wymuszenie 5 m	wymuszenie 10 m	wymuszenie 15 m
1	830%	401%	364%
2	2310%	987%	1033%
3	521%	246%	229%
4	571%	269%	221%
5	342%	141%	193%
6	378%	165%	154%

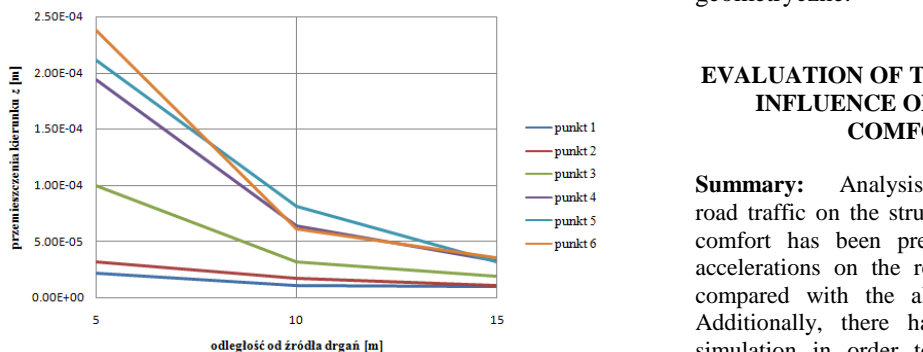
W tabelach 1 i 2 zamieszczono wyniki obliczeń w odniesieniu do sześciu wybranych punktów zamodelowanego budynku. Punkty numer 1 oraz 2 są umiejscowione w narożach budynku, na wysokościach odpowiednio 2,8 m oraz 5,6 m. Punkt numer 3 jest usytuowany na środku rozpiętości stropu nad II kondygnacją (wysokość 5,6 m). Punkty numer 4 oraz 5 znajdują się na środkach rozpiętości stropu nad I kondygnacją (wysokość 2,8 m). Punkt nr 6 jest umiejscowiony na krawędzi balkonu.

Kierunek *x* charakteryzuje się maksymalnym procentowym wzrostem przemieszczeń w stosunku do przemieszczeń spowodowanych ciężarem własnym konstrukcji. Zjawisko to jest oczywistym skutkiem działania wymuszenia dynamicznego w kierunku poziomym. Maksymalny wzrost przemieszczeń wystąpił dla punktu 2 zlokalizowanego na narożu budynku. Przemieszczenia od ciężaru własnego tego punktu wyniosło 0,0000248 m, natomiast przemieszczenie na skutek działania dynamicznego, którego źródło było oddalone o 5 m od budynku spowodowało przemieszczenie równe 0,0000574 m, co daje wzrost 2310 %. Pomimo tak wielkiego procentowego wzrostu należy jednak stwierdzić, iż uzyskana wartość nie będzie w sposób istotny wpływać na pracę konstrukcji. Charakterystyczną cechą kierunku *y* są również duże procentowe wzrosty przemieszczeń jednak już nie tak spektakularne jak dla kierunku *x*. Analogicznie do kierunku *x*, można je wytłumaczyć działaniem składowej poziomej drgań parasejsmicznych. Kierunek *z* jest jedynym kierunkiem, dla którego nie zanotowano wzrostu przemieszczeń konstrukcji, a nawet ich duży spadek. Maksymalne uzyskane przemieszczenia, spowodowane drganiami parasejsmicznymi, zanotowano dla punktu 6. Uzyskano przemieszczenia tego punktu na poziomie 0,000238 m, natomiast przemieszczenie spowodowane działaniem ciężaru własnego osiągnęło wartość 0,00154 m. Pomimo tego, że przemieszczenie 0,238 mm stanowi jedynie 15 % przemieszczenia od

ciężaru własnego, jest ono na tyle duże, że niewątpliwie będzie miało wpływ na pracę konstrukcji badanego budynku.

Konstrukcja badanego budynku w żadnej z zakładanych lokalizacji nie będzie narażona w sposób nadmierny na działanie drgań parasejsmicznych. Wprawdzie bliskie odległości od krawędzi jezni będą niewątpliwie powodowały drgania konstrukcji, jednakże nie będą one osiągały wartości dostatecznie dużych, aby można je było uznać za szkodliwe dla budynku. Uzyskane wyniki wskazują jedynie na możliwość występowania nadmiernych zarysowań.

Zaprezentowane dane, jak i pokazany poniżej przykładowy wykres (Rys. 9), wskazują na bardzo duży spadek przemieszczeń dynamicznych konstrukcji w przedziale od 5 m do 10 m w zależności od lokalizacji budynku względem źródła drgań. Nawet stosunkowo niewielkie zmiany odległości od źródła drgań mogą w bardzo dużym stopniu zredukować odpowiedź dynamiczną konstrukcji. Można w ten prosty sposób skutecznie zmniejszyć przemieszczenia konstrukcji projektowanego obiektu, co przekłada się na mniejsze wymagania wytrzymałościowe budynku, a co za tym idzie także prowadzi do zmniejszenia kosztów budowy i późniejszej eksploatacji.



Rys. 9. Wykres zależności amplitudy przemieszczeń od odległości źródła drgań.

Fig. 9. Relation of the displacement amplitude to the distance from the source of vibrations.

5. WNIOSKI

Na podstawie wykonanych pomiarów drgań ściany nośnej na poziomie gruntu, istniejącego budynku można jednoznacznie stwierdzić, iż nie mają one większego wpływu na pracę samej konstrukcji oraz na stan techniczny całego badanego obiektu. Badania stropu najwyższej kondygnacji budynku, wykazały znaczne zwiększenie poziomu drgań. Po dokonaniu oceny wpływu tychże drgań na osoby mieszkające w badanym budynku, stwierdzono duże przekroczenia wartości dopuszczalnych przyspieszeń drgań, co skutkuje brakiem komfortu wibracyjnego osób

zamieszkujących badany obiekt narażony na oddziaływanie drgań komunikacyjnych. Dokonując porównania zarejestrowanych widm przebiegów drgań ściany nośnej na poziomie gruntu oraz stropu najwyższej kondygnacji, wskazano jako główną przyczynę wzrostu poziomów drgań – rezonans niektórych częstotliwości drgań parasejsmicznych z częstotliwościami własnymi badanego budynku.

Przeprowadzona analiza numeryczna wykazała zdecydowanie większy wpływ drgań parasejsmicznych na pracę konstrukcji projektowanego budynku, niż to miało miejsce w przypadku oceny budynku już istniejącego, szczególnie przy znacząco mniejszych odległościach budynku względem źródła drgań. Niemniej otrzymane wartości przemieszczeń w dalszym ciągu były na tyle małe, iż można stwierdzić, że nie powinny stać się one przyczyną awarii projektowanego budynku.

Podczas wykonywania pomiarów drgań gruntu, jak również późniejszej analizy komputerowej, wykazano bardzo duży spadek poziomów drgań wraz ze wzrostem odległości od źródła. Jest to bardzo ważne spostrzeżenie z punktu widzenia ochrony budynków przez wszelkimi działaniami parasejsmicznymi i ma niewątpliwie swą przyczynę w cechach gruntu odpowiadających za tłumienie geometryczne.

EVALUATION OF TRAFFIC GENERATED VIBRATIONS INFLUENCE ON BUILDING STRUCTURE AND COMFORT OF INHABITANTS

Summary: Analysis of the influence of vibrations caused by road traffic on the structure of a building, as well as on human comfort has been presented in the paper. Measurements of accelerations on the real structure have been made, and then compared with the allowable values presented in standards. Additionally, there has been performed dynamic numerical simulation in order to research the influence of a building localization in relations to the source on the amplitudes of vibrations which are received by the building and the inhabitants.

Literatura

- [1] Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E. *Seminarium: Diagnostyka dynamiczna w budownictwie*. Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Kraków 1993
- [2] Kawecki J. *Diagnostyka dynamiczna działań parasejsmicznych*. Inżynieria i budownictwo 9 (2008) 512-516
- [3] PN-85/B-02170: *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki*
- [4] PN-88/B-02171: *Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach*