

Tadeusz Chyży*, Krzysztof Robert Czech*
Mikołaj Malesza*, Czesław Miedziałowski*

Badania i ocena wpływów drgań drogowych w zespole budynków zabytkowych

Investigations and evaluation of road vibrations influence in historic buildings complex

1. Wstęp

W ostatnich latach, coraz częściej występują problemy negatywnego oddziaływania drgań propagowanych z ciągów komunikacyjnych na obiekty budowlane i przebywających w nich ludzi. Powyższe zagadnienie nabiera jeszcze większego znaczenia, gdy mamy do czynienia z zabudową o unikalnych walorach architektonicznych i historycznych, objętych ochroną konserwatora zabytków.

W pracy zaprezentowane zostaną wyniki pomiarów i analiz wpływów dynamicznych na budynki i ich użytkowników, jakie zostały przeprowadzone w jednym z najstarszych i najpiękniejszych „zespółów urbanistycznych historycznego Podlasia”, jakim jest Tykocin. Miasteczko, położone w Kotlinie Biebrzańskiej na zachód od Białegostoku, powstało w miejscu przeprawy przez rzekę Narew skracającej szlak handlowy prowadzący z Wilna i Moskwy za zachód Polski. Tykocin, który prawa miejskie uzyskał już w 1425 r. (z nadania księcia mazowieckiego Janusza), jest jednym z nielicznych miejsc na Podlasiu, w którym zachowało się architektoniczne dziedzictwo poprzednich wieków i któremu w chwili obecnej zagraża postęp cywilizacyjny, w tym szczególnie przypadkiem związany z intensyfikacją ruchu drogowego.

Powszechnie wiadomo, iż nadmierne amplitudy przyspieszeń (prędkości lub przemieszczeń) drgań, generowanych przejazdami pojazdów kołowych i propagowanych, zazwyczaj w dolnych pasmach częstotliwości, powodują przyspieszoną konsolida-

1. Introduction

Problems of negative action on buildings and their inhabitants under vibrations propagated from communication routes are constantly rising within period of several last years. This problem acquire higher importance in case of unique architecture and historic value buildings being usually under conservator of monuments and historic heritage.

Paper presents results of measurements and analyses of dynamic influences on buildings and their inhabitants. The investigations were conducted in Tykocin one of the oldest and most beautiful town-planned historic complex of Podlissie Region.

Little country town Tykocin is allocated in Biebrza River Valley toward west of Bialystok in the place of historic crossing of Narew River making shorter the trade route from Vilnius and Moscow to the western part of Poland. Tykocin acquired civic rights in 1425 under conferment of Mazowian prince Janusz and the town remains the unique place in Podlissie Region with preserved architecture heritage of past centuries being actually threatened with civilization progress and specifically in case of this town in result of intensified heavy traffic.

It became widespread that excessive amplitudes of acceleration (velocity or displacement) of vibrations being generated in result of traffic vehicles passages and propagated usually in the bottom bands of frequency cause accelerated soil consolidation and in result decidedly more rapid non-uniform settlement of buildings. Derivative failures of foundations

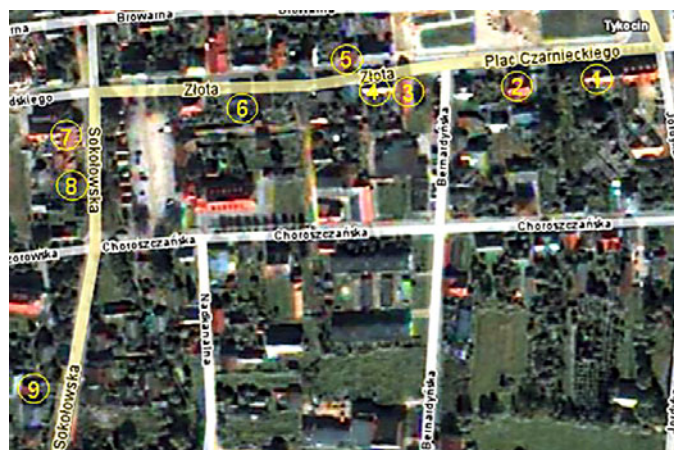
cję gruntu i zdecydowanie szybsze w czasie, nierównomierne osiadanie budynków. Temu zjawisku, w zależności od intensywności i częstotliwości, z jakimi propagowane są drgania, towarzyszą zwykle wtórne uszkodzenia fundamentów i ścian nośnych budowli. W niektórych przypadkach, przy wyjątkowo intensywnych oddziaływaniach dynamicznych może nastąpić dalsze przyspieszone zużycie obiektów budowlanych – w szczególnie niekorzystnych warunkach może dochodzić nawet do uszkodzeń elementów konstrukcyjnych. Tego typu oddziaływania dynamiczne nie pozostają także bez wpływu na użytkowników i mieszkańców ww. obiektów, którzy mogą uskarżać się na pogorszenie komfortu użytkowania.

Celem przeprowadzonych pomiarów i analiz była ocena szkodliwości drgań propagowanych z drogi wojewódzkiej Nr 671 o nawierzchni z nieregularnej kostki granitowej (Plac Czarnieckiego i ul. Złota) i brukowej (ul. Sokołowska) na budynki oraz ocena wpływu ww. drgań na ludzi [8].

2. Opis budynków

Do badań wytypowano 9 obiektów budowlanych o konstrukcji typowej dla zabudowy miasta Tykocin, których mieszkańcy i użytkownicy w głównej mierze uskarżali się na nadmierną uciążliwość drgań generowanych przejazdami pojazdów kołowych drogą wojewódzką Nr 671.

Wybrane budynki, położone przy ulicach (rys. 1): Plac Czarnieckiego 5 i 7 (budynki Nr 1 i 2), Złotej 3, 4 i 14 (Nr 4, 5, 6) oraz Sokołowskiej 5 i 15 (Nr 8 i 9). Większość ww. obiektów to jedno-, dwu- oraz trzykondygnacyjne budynki mieszkalne zrealizowane w technologii tradycyjnej, jeden budynek użyteczności publicznej (ul. Złota 2 – budynek Nr 3) – Urząd Miejski oraz obiekt usługowy o funkcji gastronomiczno-noclegowej (ul. Sokołowska 3 – budynek Nr 7) – Willa Regent.



Rys. 1. Lokalizacja wybranych budynków na planie miasta
Fig. 1. Location of selected buildings according to the town plan

and buildings bearing walls are usually accompanying this phenomenon depending on intensity and frequency of propagated vibrations. Under highly intensive dynamic action in some cases may appear increase and accelerated wearing of building out under specifically unfavourable conditions may appear damages of structural elements. These actions are also influencing inhabitants and residents of buildings and they may complain from decreased comfort of exploitation. Evaluation of harmfulness of vibrations propagated from district road No. 671 with the non-regular cut granite stone surface at the Czarniecki Square and Złota Street and the cobblestone surface of Sokolowska Street on buildings as well as evaluation of influence of the vibrations on inhabitants [8] remains the aim of conducted measurements and analysis.

2. Descriptions of buildings

Nine buildings of typical structure for Tykocin town were selected for investigations where inhabitants and users mainly complained for excessive onerousness of vibrations generated from road vehicles passing the district road No. 671. Selected buildings were located at Czarniecki Square 5 and 7 (buildings No 1 and 2), at Złota Street 3, 4 and 14 (No 4, 5, 6) and at Sokolowska Street 5 and 15 (buildings No.8 and 9). Most of these buildings one, two or three floors were constructed in traditional technology and they are residential buildings, however building located at Złota Street 2; No 3 actually is used as the town municipality and building at Sokolowska Street 3; No 7 is used as the hotel – Villa Regent.

Examined buildings were reconstructed or newly constructed; buildings No 7, 8 and 9. Building



Rys. 2. Widok budynków Nr: 1, 2, 3, 4 i 5
 Fig. 2. Buildings No: 1, 2, 3, 4 and 5, general view

Badane budynki zostały odbudowane lub wykonane od nowa (budynki Nr: 7, 8 i 9). Budynek Nr 7 wybudowano, na starych fundamentach, w ostatnich latach.

Budynki o Nr 1 do 8 znajdują się w odległości od 1.2 do 7.4 m od krawędzi drogi. Najdalej, bo w odległości 17.25 m od krawędzi jezdni, położony jest budynek Nr 9 (ul. Sokołowska 15). Przykładowe budynki pokazano na (rys. 2).

3. Metodyka badań

Nie jest możliwe jednoznaczne określenie wpływu szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki i ocena ich wpływu na ludzi jedynie na podstawie oględzin stanu budynku. W tym celu niezbędne jest przeprowadzenie pomiarów dynamicznych, wykonanie modelu MES, przeprowadzenie obliczeń numerycznych i szczegółowe przeanalizowanie uzyskanych wyników badań. W przypadku budynków (wykonanych) z elementów muryowanych lub wielkich bloków ocenę wpływu drgań na budynek można przeprowadzić w sposób przybliżony – za pomocą skal wpływów dynamicznych SWD [1], [4], [5].

No 7 has been constructed on the old foundations within last several years.

Buildings No 1 to 8 are located 1.2 to 7.4 m from the edge of traffic route. 17.25 m from the edge of the road surface is located building No 9 at Sokolowska Street 15. Figure 2 presents selected buildings.

3. Method of testing

It is impossible explicitly determine the destructive influence of vibrations transmitted through sub-base on buildings and evaluation its influence on inhabitants on the base of technical state inspection. It is essential to conduct the dynamic measurements, creation of FEM model, numerical analysis and precise analysis of obtained experimental test results. Evaluation of vibration influence on building can be done approximately adopting scales of dynamic influence SWD [1], [4], [5] in case of buildings constructed of masonry units or large blocks. All buildings selected for experimental tests can be evaluated in respect of harmful influence of vibrations transmitted from the soil applying approximate scales of dynamic influences SWD.

W prezentowanym przypadku dla wszystkich wytypowanych do badań budynków możliwe było przeprowadzenie oceny wpływu szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki za pomocą przybliżonych skal wpływów dynamicznych (SWD).

Zgodnie z normą [1] charakterystyki wymuszeń kinematycznych wyznaczono w oparciu o pomiar zmian w czasie przyspieszeń, zarejestrowanych w punktach pomiarowych usytuowanych od strony źródła drgań na fundamentach lub ścianach nośnych budynków w poziomie otaczającego terenu – niezależnie dla osi podłużnej i poprzecznej budynków.

Ocenę wpływu drgań na ludzi przebywających w budynkach realizowano, zgodnie z normą [2], na podstawie pomiaru widma przyspieszeń drgań zarejestrowanych w środku rozpiętości stropów.

Dodatkowo rejestracji podlegały przyspieszenia drgań generowane przy krawędzi jezdni, a sporadycznie również w osi jezdni.

W każdym punkcie pomiarowym przyspieszenia drgań rejestrowano na trzech kierunkach: pionowym „z” oraz w płaszczyźnie poziomej na kierunku osi „x” i „y” (x – oznacza kierunek równoległy do osi drogi; y – kierunek prostopadły do osi drogi).

Lokalizację przykładowych punktów pomiarowych oraz sposób rozmieszczenia czujników pokazano na (rys. 3).

As it comes from standard [1] characteristics of kinematic extortions were determined basing on the measurements of alteration in time of accelerations recorded in measuring points located from the side of vibration sources at the foundations or load bearing walls at the level of surrounding ground irrespective of longitudinal or transverse building axis. Evaluation of vibration influence on inhabitants in buildings has been realized according to standard [2] on the base of acceleration of vibrations spectrum being registered in the mid-span of the floor slabs. Accelerations of vibrations at the edge of street as well as sporadically in the surface axis were registered in addition.

At each measurement point acceleration of vibrations were registered in three directions: vertical z and in the plane x and y, where x – indicate the direction parallel to the axis of road and y indicates direction of perpendicular to the road axis.

Location of selected reading points and way of distribution of gauges are presented in Fig. 3. Acceleration of vibrations were recorded using the vibration recorder KSD-400 connected to the PC computer with four low- frequency piezoelectric gauges 3191A and eight low-frequency piezoelectric gauges 3197D of Dytran Co. Measurements ranges and accuracy of reading system significantly exceeded requirements of standard [1].



Rys. 3. Usytuowanie przykładowych punktów pomiarowych
Fig. 3. Location of selected measurement points

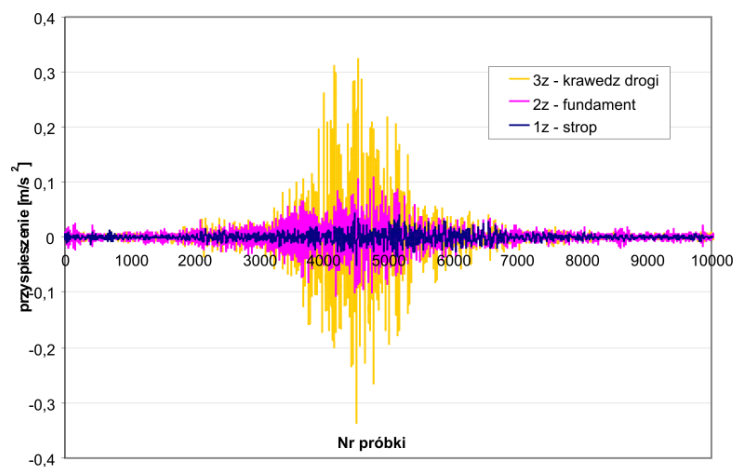
Do rejestracji przyspieszeń drgań wykorzystano podłączony do przenośnego komputera typu PC rejestrator drgań KSD-400 wraz z 4 niskoczęstotliwościowymi czujnikami piezoelektrycznymi typu 3191A oraz 8 niskoczęstotliwościowymi czujnikami piezoelektrycznymi typu 3197D firmy Dytran. Zakresy pomiarowe oraz dokładność układu pomiarowego znacznie przewyższały wymagania normy [1].

Badania prowadzono dla przejazdów pojazdów testowych o masie całkowitej 10T (Kamaz) oraz 40T (Renault), a także innych pojazdów (głównie ciężarowych) ruchu lokalnego. Pojazdy testowe poruszały się z prędkościami ok. 40 i ok. 50 km/h, a w przypadku budynków Nr 3 i 9 dodatkowo rejestrowano przejazdy pojazdów z prędkościami ok.: 20 i 30 km/h.

Przykładowe zestawienia przyspieszeń zarejestrowanych w punktach pomiarowych zlokalizowanych w środku rozpiętości stropu, na fundamencie lub ścianie nośnej budynku oraz w pobliżu krawędzi drogi przedstawiono na (rys. 4).

Tests were conducted for passing test trucks with total mass of 10 ton type of Kamaz and 40 ton Renault as well as the other vehicles mainly heavy trucks passing in local traffic. Test vehicles were moving with velocity of 40 to 50 km/h and in case of buildings No 3 and 9 in addition were registered passing of vehicles with the velocity of 20 and 30 km/h.

As an example set of accelerations registered in measurement points located in the mid-span of the floor slab, at the foundation or on the building bearing wall as well as close to the edge of the road are presented in fig. 4.



Rys. 4. Przykładowe zestawienie przyspieszeń pionowych (na kierunku „z”) zarejestrowanych w trakcie przejazdu pojazdu testowego o masie 10 T w pobliżu budynku Nr 7

Fig. 4. Example set of vertical accelerations in z direction being registered during the passing of test vehicle mass of 10 ton close to building No 7

4. Wyniki pomiarów drgań przekazywanych z podłoża na wybrane budynki i ich użytkowników

W celu przeprowadzenia oceny szkodliwości drgań przy wykorzystaniu skal SWD i zaklasyfikowaniu ich do jednej z pięciu stref szkodliwości na budynki (I, II, III, IV i V) wymagane było przeprowadzenie filtracji dolnoprzepustowej sygnału przy górnej częstotliwości odcięcia równej 100 Hz, a następnie wykonanie analizy tercylowej – tzn. analizy w pasmach 1/3-oktawowych dla składowych poziomych przyspieszeń drgań zarejestrowanych na fundamentach rozpatrywanych budynków w poziomie otaczającego terenu.

Do przeprowadzenia analiz wykorzystano program komputerowy ProData [3]. Przykładowe wy-

4. Results of vibration measurements transmitted from sub-base on selected buildings and their inhabitants

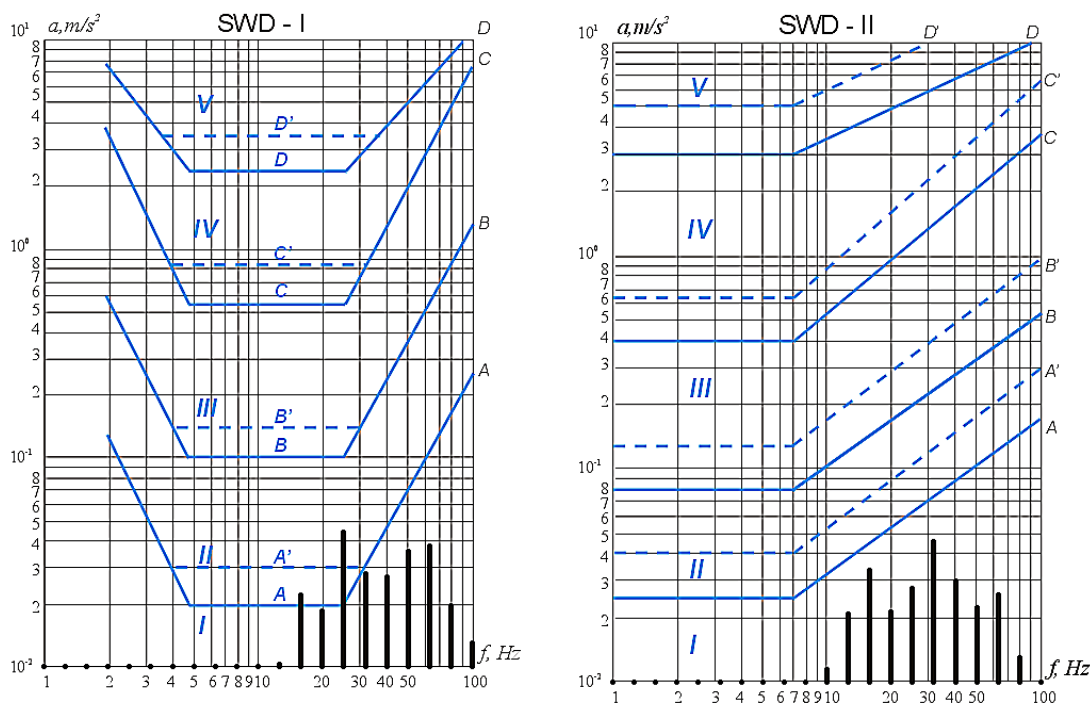
Due to conducting of evaluation of vibration harmfulness utilizing scales SWD as to classify their to one of five detrimental zones on buildings (I, II, III, IV and V) it is required carry out filtration the bottom-transmit of signal at upper frequency cut-off equal 100 Hz and than conduction of tertialy analysis in the 1/3 octave bands for horizontal accelerations of vibrations registered on foundations of tested buildings at the level of surrounding ground. Computer program ProData [3] has been adopted in analysis. Examples of results overlapped on scales of dynamic influence SWD-I and SWD-II are presented in fig. 5.

niki, nałożone na skale wpływów dynamicznych SWD-I i SWD-II, przedstawiono na (rys. 5).

Ocenę wpływu drgań na ludzi w budynkach przeprowadzono na podstawie pomiaru widma drgań. W takim przypadku ocenę przeprowadza się poprzez porównanie zmierzonych wartości skutecznych (*RMS*) przyspieszenia drgań a_{RMS} w pasmach 1/3 oktaowych dla analizowanego kierunku drgań (upřednio poddanych filtracji dolnoprzepustowej przy górnej częstotliwości odcięcia wynoszącej 80 Hz), z odpowiednimi wartościami dopuszczalnymi $a_{dop} = a_1 \cdot n$ (gdzie: a_{dop} – dopuszczalna wartość przyspieszenia w kierunku odbioru drgań dla pasma 1/3 oktaowego o określonej częstotliwości środkowej f_i), określonymi zgodnie z p. 4.2. normy [2], przy czym $a \leq a_{dop}$ [m/s^2].

Evaluation of vibration influence on building inhabitants has been done on the base of vibration spectra measurements. Evaluation in this case is conducted through comparison of measured effective values (*RMS*) of vibration accelerations a_{RMS} in the 1/3 octave bands for analyzed directions of vibrations previously filtrated bottom-throughput under upper frequency of separation 80 Hz with adequate allowable values $a_{dop} = a_1 \cdot n$, where: a_{dop} – is the allowable value of acceleration in direction of vibration receiving for 1/3 octave band with determined mid frequency f_i , determined according to 4.2. standard [2], where $a \leq a_{dop}$ [m/s^2].

Coefficient n has been taken considering assignment of analyzed building interiors, time of appearing of vibrations (day or night) and character and



Rys. 5. Przejazd samochodu ciężarowego o masie całkowitej 40 T przy budynkach Nr 3 i 7 (kierunek x)
Fig. 5. Passing of heavy truck of the total mass 40 tons at the buildings No 3 and 7 – direction x

Współczynnik n przyjęto z uwzględnieniem przeznaczenia pomieszczeń w analizowanych budynkach, pory występowania drgań (dzień, noc) oraz charakteru i powtarzalności drgań. W większości przypadków mamy do czynienia z budynkami mieszkalnymi (budynki Nr: 1, 2, 4 do 6, 8 i 9) lub obiektami o podobnym przeznaczeniu (budynek Nr 7), dla których współczynnik n przyjmuje się jak dla: mieszkań, internatów i pomieszczeń podobnego przeznaczenia poddanych działaniu drgań ustalonych oraz drgań sporadycznych o krotności większej niż 10 na dobę [2]. W analizowanym przypadku współczynnik n przyjmuje wartość 4 – dla drgań

repeatability of vibrations. In most cases there are residential buildings (No: 1, 2, 4, 5, 6, 8 and 9) Or building with similar assignment (building No 7) where parameter n is taken like in case of residential buildings, boarding – school or similar buildings being under steady or sporadic vibrations with multiplication higher than 10 within twenty-four-hours [2]. In the analyzed case coefficient n takes value 4 – for vibrations occurring within the day time and 1,4 for vibration in the night time. Local Municipality Building No 3 has different assignment and as for a public building coefficient n has been taken like for offices, schools and similarly assigned

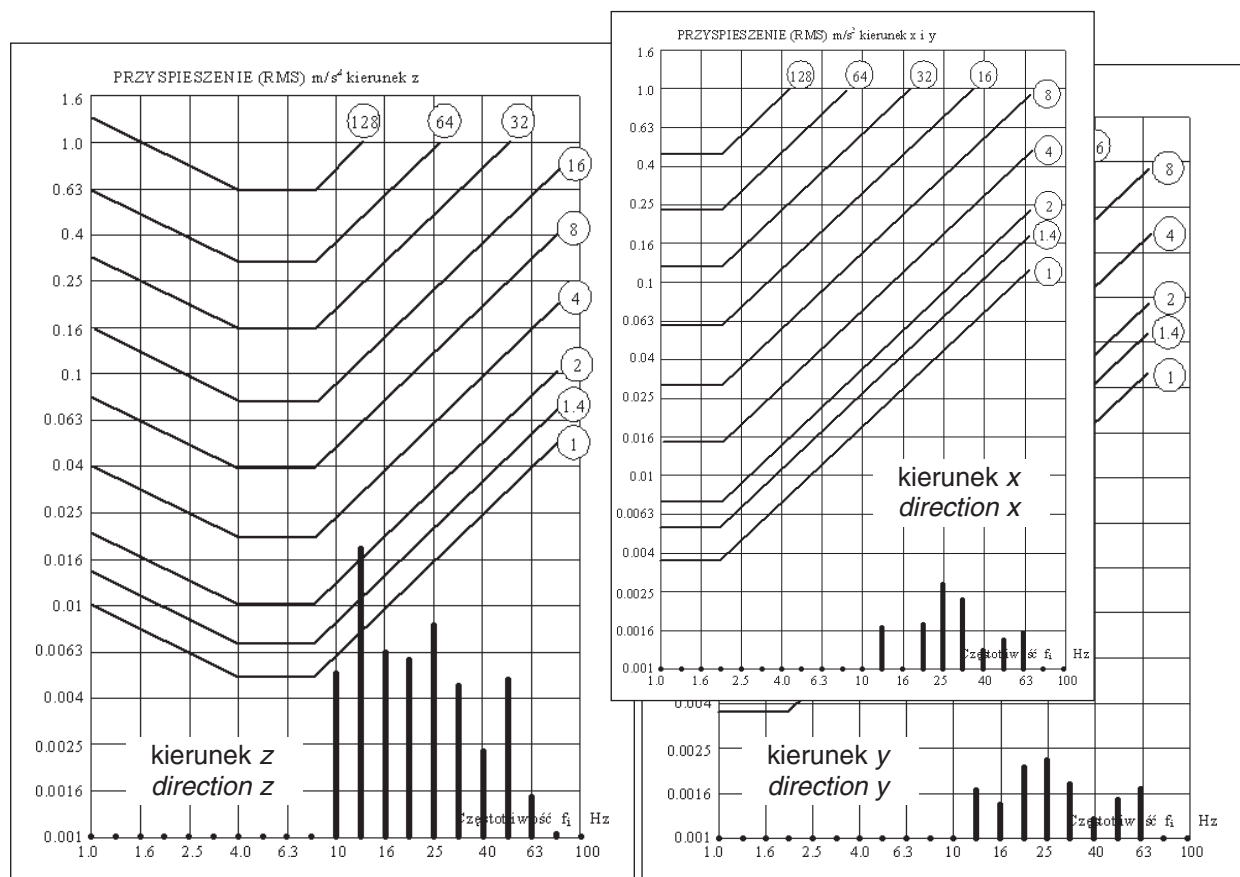
występujących w dzień oraz 1.4 dla drgań występujących w porze nocnej. Budynek Nr 3 (Urząd Miejski) ma inne przeznaczenie – jest obiektem użyteczności publicznej, dla którego współczynnik n przyjęto jak dla biur, urzędów, szkół i pomieszczeń podobnego przeznaczenia. W tym przypadku wartość współczynnika nie zależy od pory występowania drgań i zawsze wynosi $n = 4$.

W związku z powyższym wartości skuteczne zarejestrowanych przyspieszeń drgań nie powinny przekraczać w żadnym z pasm 1/3 oktaowych o częstotliwościach środkowych f_i czwartego progu odczuwalności drgań przez człowieka – dla drgań występujących w dzień i progu 1.4 – dla drgań występujących w porze nocnej (w przypadku budynku Nr 3 nie powinny przekraczać czwartego progu odczuwalności – zarówno w porze dziennej jak i nocnej).

Ocenę przeprowadzono (przy wykorzystaniu programu komputerowego *ProData* [3]) zarówno dla drgań na kierunku pionowym jak i drgań poziomych w płaszczyźnie stropów (x, y). Przykładowe wykresy obrazujące poziomy odczuwalności drgań przez człowieka prezentowane są na (rys. 7 i 8).

rooms. In that case value of coefficient does not depend on time of vibrations appearing and always is taken $n = 4$.

Effective values of the registered accelerations of vibrations cannot exceed of the fourth filling threshold vibration by men in all of 1/3 octave bands with mid frequencies f_i , for vibration in the day and threshold 1,4 and in the night in case of building No 3 the vibrations cannot exceed the fourth threshold of feeling during the day and the night. Evaluation has been done utilizing the computer program *ProData* [3] in case of vibrations in vertical direction and for horizontal vibrations at the plane of floor slab (x, y). As an examples the diagrams mapping levels of feeling by human being are presented in figures 7 and 8.



Rys. 6. Przejazd samochodu ciężarowego o masie całkowitej 10 T przy budynku Nr 1 – kierunki: z, x i y
 Fig. 6. Passing of heavy vehicle of total mass 10 tons at building No 1 – directions z, x and y

5. Analiza wyników pomiarów

5.1. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki

Na podstawie przeprowadzonych ocen szkodliwości wpływu drgań na analizowane budynki należy stwierdzić, iż przyspieszenia drgań poziomych (zarówno w kierunku x jak i y) zarejestrowane na fundamentach lub zewnętrznych ścianach nośnych budynków, wywołane przejazdami samochodów osobowych i samochodów dostawczych – w tym pojazdu testowego o masie całkowitej 10T w zasadzie nie przekraczają krzywej granicznej A na skalach wpływów dynamicznych (SWD) – oznaczającej dolną granicę odczuwalności drgań przez budynek. Zgodnie z normą [1] taki poziom drgań klasyfikuje je do I strefy szkodliwości – czyli drgań nieodczuwalnych przez budynek. Tylko w jednym przypadku – w budynku Nr 2 (Plac Czarnieckiego 5) stwierdzono przekroczenie linii granicznej A przy przejeździe samochodu testowego o masie 10T pasem jezdni najbliższym budynku (zarówno na kierunku x jak i y).

Niestety przez miasto Tykocin, pomimo istniejących ograniczeń co do dopuszczalnej masy całkowitej pojazdów do 10T, często przejeżdżają znacznie cięższe samochody ciężarowe. Jak wykazały badania i przeprowadzone oceny szkodliwości drgań generowanych przejazdem pojazdu testowego o masie całkowitej 40T – w tym przypadku zwykle dochodziło (zarówno na kierunku x jak i y) do przekroczenia linii granicznej A na skalach wpływów dynamicznych (SWD), co klasyfikowało zarejestrowane drgania do strefy II – tzn. drgań odczuwalnych przez budynek, ale nieszkodliwych dla jego konstrukcji (następuje tylko przyspieszone zużycie budynku i pojawiają się pierwsze rysy w wyprawach, tynkach itp.). Występowanie drgań odczuwalnych przez budynek (II strefa) stwierdzono w przypadku budynków o Nr: 1, 2, 4, 5 (wyłącznie na kierunku x), 6 i 8 – przy przejeździe ww. pojazdu testowego pasem jezdni bliższym budynku. Nieco niższy poziom przyspieszeń w pasmach tercjowych generowany był przy przejeździe pojazdu testowego o masie 40 T w przeciwnym kierunku (oddalonym od budynku pasem jezdni). W tym przypadku tylko w budynkach o Nr: 2, 4 i 6 odnotowano przekroczenie linii granicznej A .

Nie stwierdzono natomiast negatywnych oddziaływań drgań generowanych przejazdami ciężkich pojazdów testowych w pobliżu budynków o Nr: 3, 7 i 9 (dla których, ze względu na ich wymiary zewnętrzne, podobnie jak dla budynku Nr 5, zastosowano bardziej rygorystyczną skalę wpływów dynamicznych $SWD-II$).

5. Analysis of tests results

5.1. Evaluation of vibration harmfulness transmitted from sub-base on buildings

As it comes from conducted analysis evaluating influence of vibrations harmfulness on analyzed buildings the horizontal vibration accelerations in the direction x as well as in y being registered at the foundations or outer bearing walls in result of passing cars and delivery vans including test vehicle of total mass 10 tons do not exceed limit curve A on the scales of dynamic influence SWD determining bottom limit of feeling of vibrations by buildings. According to the standard [1] such a level of vibrations classifies them to I zone of harmfulness hence they are vibrations imperceptible by building. In case of building No 2 only it has been noticed exceeding of limit line A under passing along the strip of surface closest to the building of test vehicle mass of 10 tons in the direction x and y .

Unfortunately through Tykocin despite limitation in traffic referring to the allowable mass of vehicles not exceeding 10 tons very often are passing heavier vehicles. As it comes from investigations and from evaluation of harmfulness of generated vibrations under test vehicle of 40 tons total mass in both directions x and y the limit line A has been exceeding on the scales of dynamic influence SWD classifying registered vibrations to the II zone of vibrations perceptible by building, but non-harmful for building structure causing increased wearing of building in result and appearing of cracks in plastering and finishes.

Appearing of vibrations perceptible by building in the II zone were confirmed for buildings No 1, 2, 4 and 5 in the direction x only as well as 6 and 8 under passing of the test vehicle along the runway close to the building. Somewhat lower level of accelerations in the tertial bands has been generated under passing of test vehicle mass of 40 tons in the opposite direction along the distanced from building runway. In this case in buildings No 2, 4 and 6 has been noticed exceeding of limit line A .

No negative response of vibrations being generated in result of passing heavy vehicles during the tests were noticed in the vicinity of buildings No 3, 7 and 9 where similar to building No 5 has been used more rigorous scale $SWD-II$ of dynamic influence.

In no case has been state appearance of vibrations qualified to III zone where harmful vibrations cause local cracking and failures decreasing ability of structure in transfer ring loading and decreasing resistance on dynamic influence.

W żadnym przypadku nie stwierdzono natomiast występowania drgań, które należałoby zakwalifikować do III strefy – *tzn. drgań szkodliwych dla budynku (powodujących lokalne spękania i zarysowania i osłabiających przez to konstrukcję budynku oraz zmniejszających jego nośność oraz odporność na dalsze wpływy dynamiczne).*

5.2. Ocena wpływu drgań na ludzi

Jak wynika z analiz przeprowadzonych dla wszystkich ww. budynków – drgania poziome w płaszczyźnie wszystkich stropów są praktycznie nieodczuwalne przez mieszkańców. Biorąc pod uwagę fakt nieprzekroczenia w analizowanych budynkach pierwszego progu odczuwalności drgań przez człowieka w płaszczyźnie poziomej w żadnym z pasm 1/3 oktaowych, należy stwierdzić, że warunek normowy $a_{x,y} \leq a_{dop}$ – został spełniony w kierunku osi poziomych x i y . Drgania poziome w tym przypadku nie wpływają na pogorszenie komfortu mieszkańców ww. budynków.

Na kierunku pionowym, w każdym z analizowanych obiektów, wielokrotnie stwierdzono przekroczenie co najmniej pierwszego progu odczuwalności drgań przez człowieka. Przy czym, przekroczenia ww. progu drgań nie powodowały przejazdu samochodów osobowych oraz małych samochodów dostawczych.

Przejazd samochodu testowego o masie całkowitej 10T w lewą stronę (oddalonym pasem jezdni) powodował maksymalne przekroczenie odczuwalności drgań przez człowieka na poziomie: 1.0 – dla budynków Nr 3 i 5 oraz 1.4 – dla budynku Nr 4. Najwyższy poziom 2.0 stwierdzono w przypadku budynku Nr 6. Nie odnotowano przekroczenia progu odczuwalności drgań przez człowieka w przypadku przejazdów ww. pojazdu testowego w pobliżu budynków Nr: 1, 2, 7, 8 i 9.

Analogiczny przejazd pojazdu testowego o masie 10T w prawą stronę (pasem jezdni położonym bezpośrednio przy budynku) powodował przekroczenie poziomu: 1.0 – dla budynków o Nr: 2, 3, 5 i 8, poziomu 1.4 – w przypadku budynku Nr 4 oraz najwyższy poziom odczuwalności drgań równy 2.0 dla budynków Nr 1 i 6. Nie stwierdzono w tym przypadku przekroczenia pierwszego progu drgań tylko dla budynku Nr 7.

W przypadku pojazdu testowego o masie całkowitej 40T, stwierdzono, iż przejazd tego typu pojazdu w lewą stronę generuje maksymalne drgania nieprzekraczające pierwszego progu odczuwalności drgań przez człowieka – dla budynków Nr: 2, 8 i 9. Próg odczuwalności drgań przez człowieka jest przekroczony na poziomie: 1.0 – w przypadku budynku Nr 7, 1.4 – dla budynku Nr 1, 2.0 – dla bu-

5.2. Evaluation of influence on inhabitants

Horizontal vibrations in the planes of all floor slabs are practically non perceptible for inhabitants what were confirmed during the investigations and analysis. Taking into account fact that in analyzed buildings the first threshold of perception by inhabitants of vibrations has not been exceeded in the 1/3 octave of bands, hence the standard condition $a_{x,y} \leq a_{dop}$ in the horizontal plane is fulfilled in the direction of horizontal axis x and y . Horizontal vibrations in this case does not decrease living comfort of inhabitants.

In vertical direction in all of analyzed buildings several times it has been confirmed overcrossing at least the first perceptible level of vibrations by men. This overcrossing of the first threshold has not been resulted from cars and small trucks. Passing of test vehicle of total mass 10 tons to the left side along the distant runway produced maximum overcome of perception of vibrations by men at the level: 1,0 for buildings No 3 and 5 and 1,4 for building No 4. The highest perceptibility of vibration level 2,0 has been stated for building No 6. No overcome of threshold perceptability by men in case of passing test vehicle close to buildings No 1, 2, 7, 8 and 9 were noticed. Analogically passing of the test vehicle of 10 tons mass to the right direction along the runway at the building caused overcome of level 1,0 for building No 2, 3, 5 and 8 and level 1,4 in case of building No 4, while the highest level of perceptibility of vibrations equal 2,0 is noticed for buildings No 5 and 6. The first threshold of vibration has not been overcome for building No 7 only.

In case of passing the heavy vehicle of total mass 40 tons it was stated that traveling towards left side they generated the highest vibration but they do not overcome the first threshold of perceptability by men for buildings No 2, 8 and 9. The threshold of perceptability is overcome at the level of 1,0 for buildings No 7, 1 and 4, level 1,4 for building No 1, level 2,0 for buildings No 3 and 4 and level 4,0 for buildings No 5 and 6.

Passing of 40 tons mass of vehicle to the right side in all buildings caused overcome of perceptibility of vibrations at the level 1,0 for buildings No 2, 1 and 4, level 1,4 for building No 7, level 2,0 for buildings No 1, 8 and 9 and level exceeding 4,0 for buildings No 3, 4, 5 and 6.

The values of effective accelerations of vibrations register in vertical direction in the 1/3 octave bands in the mid-span of floor slabs in most buildings are exceeding the allowable values within the day time as well as in the night time having negative influence on vibration comfort of buildings inhabitants. Specifically the standard condition $a \leq a_{dop}$ has not been

dynków Nr 3 i 4 oraz poziom 4.0 – dla budynków o Nr 5 i 6.

Przejazd pojazdu 40 tonowego w prawą stronę w każdym z budynków powoduje przekroczenie poziomu odczuwalności drgań na poziomie: 1.0 – dla budynku Nr 2, 1.4 – dla budynku Nr 7, 2.0 – dla budynków Nr: 1, 8 i 9 oraz ponad 4.0 dla pozostałych budynków (Nr 3, 4, 5 i 6).

Z powyższego wynika, iż wartości skuteczne przyspieszeń drgań rejestrowanych na kierunku pionowym w pasmach 1/3 oktaowych w środku rozpiętości poszczególnych stropów, dla większości budynków przekraczają dopuszczalne wartości przyspieszeń drgań – zarówno w porze dziennej jak i w porze nocnej, w związku z czym, rejestrowane drgania mogą mieć negatywny wpływ na komfort drganiowy ludzi przebywających w budynkach.

W szczególności warunek normowy $a_z \leq a_{dop}$ nie został spełniony w przypadku budynków o Nr: 3, 4, 5 i 6 – dla drgań występujących w porze dziennej oraz w budynkach o Nr: 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8 i 9 – dla drgań występujących w porze nocnej.

6. Podsumowanie

Szczegółowa analiza wyników pomiarów wykonanych dla odcinka drogi wojewódzkiej przebiegającej przez miasto Tykocin, wykazuje że:

wpływ drgań drogowych na budynki znajdujące się w pobliżu ulicy jest poniżej I progu odczuwalności lub niewiele go przekracza. Generalnie można stwierdzić, iż drgania podłoża wywołane ruchem pojazdów mogą intensyfikować naturalne procesy niszczenia wypraw tynkarskich (zarysowania) i nie mają negatywnego wpływu na elementy konstrukcyjne obiektów,

wpływ drgań drogowych na ludzi znajdujących się w budynkach jest już znaczący i może pogarszać komfort zamieszkiwania.

Ogólnie można stwierdzić, iż poziom drgań jest zbyt duży, głównie ze względu na komfort zamieszkiwania, i konieczne jest wykonanie działań mających na celu redukcję tych oddziaływań, czyli drgań generowanych ruchem drogowym.

fulfilled for buildings No 3, 4, 5 and 6 for vibrations during the day time and for buildings No 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 and 9 for vibrations within the night time.

6. Summary

Detailed analysis of measurement results conducted along the district road segment crossing Town Tykocin discloses:

influence of road vibrations on buildings allocated close to the Road surface is below the I threshold of perceptability and non-significantly overcomes that level. Generally vibrations of subsoil under vehicles traffic may intensify natural processes of building finishes degradation (cracks of plastering) and they do not have negative influence on structural elements,

influence of road vibrations of inhabitants is significant and may decrease living comfort.

Generally the level of vibrations is too high due to living comfort and it is required to undertake steps to reduce these vibrations generated from traffic.

Literatura • References

- [1] PN-85/B-02170 *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.*
- [2] PN-88/B-02171 *Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.*
- [3] Chyży T., *Instrukcja do programu ProData.* Białystok, 2009.
- [4] Instrukcja 348/98. *Diagnostyka dynamiczna i zabezpieczenia istniejących budynków mieszkalnych przed szkodliwym działaniem drgań na właściwości użytkowe budynków.* Warszawa, 1998.
- [5] Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E., *Ocena wpływu wibracji na budowlę i ludzi w budynkach (Diagnostyka dynamiczna),* ITB, 1993.
- [6] Adamczyk J., Targosz J., *Ochrona przed drganiami wywołanymi przez transport samochodowy,* AGH, 2000.
- [7] Materiały z Seminarium: *Ochrona budowli przed drganiami,* Wrocław, 2009, Materiały Budowlane, 3/2009.
- [8] Miedziałowski Cz., Chyży T., Czech K. R., *Ekspertyza dotycząca dokumentacji projektowej na przebudowę drogi wojewódzkiej nr 671 – przejście przez Tykocin.* Białystok, 2009.

* Politechnika Białostocka, Białystok, Polska
Białystok Technical University, Białystok, Poland

Streszczenie

W pracy przedstawiono badania wpływu drgań drogowych na obiekty budowlane i ich użytkowników w zespole zabytkowym miasta Tykocin. Badaniem objęto 9 budynków o konstrukcji typowej dla zabudowy miasta. Przedstawiono metodykę badań oraz uzyskane wyniki. Następnie podano ocenę wpływu zarejestrowanych drgań na budynki (na podstawie normowych Skal Wpływów Dynamicznych) i ludzi w nich przebywających. Na zakończenie sformułowano wnioski i zalecenia, co do konieczności i kierunków modernizacji drogi, przy której zlokalizowane są badane obiekty.

Abstract

Paper presents investigations of road vibration influence on buildings and their inhabitants in historic town Tykocin. Method of investigations and obtained results are presented. Conclusions coming from evaluation of influence of registered vibrations on buildings on the base of Dynamic Influence Scales and on building inhabitants. Conclusions and practical recommendations for required modernization of road where buildings are located close to are ending the paper.