BUDOWNICTWO
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
CIVIL ENGINEERING
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
3-B/2011
ZESZYT 19
ROK 108
ISSUE 19
YEAR 108

TADEUSZ TATARA*, PIOTR KUBOŃ**

WPŁYW ROBÓT STRZAŁOWYCH NA STAN OBIEKTÓW BUDOWLANYCH BĘDĄCYCH W ICH ZASIĘGU

INFLUENCE OF THE MINING WORKS ON STRUCTURES

S t r e s z c z e n i e

W pracy podano charakterystyki eksploatacji górniczej w kopalni odkrywkowej kamienia gipsowego. Przedstawiono opis konstrukcji wybranych budynków o konstrukcji murowej wraz z aktualnym stanem technicznym obiektów. Szczegółowo zestawiono uszkodzenia architektoniczne i konstrukcyjne analizowanych obiektów. W artykule zawarto opis przeprowadzonych pomiarów dynamicznych drgań, gruntu i budynków, generowanych odstrzałami materiałów wybuchowych (MW) w kamieniołomie. W celach porównawczych zrealizowano pomiary od przejazdów pojazdów samochodowych po drodze w bezpośrednim, sąsiedztwie badanych obiektów. Wykonano analizy wyników pomiarów drgań budynków od odstrzałów (MW) i przejazdów pojazdów samochodowych pod kątem: a) oceny redukcji poziomu drgań na styku podłoże gruntowe – budynek, b) oceny szkodliwości drgań na budynki z wykorzystaniem Skal Wpływów Dynamicznych (SWD

Słowa kluczowe: budynek, drgania, eksploatacja górnicza, kamieniołom, Skala Wpływów Dynamicznych

A b s t r a c t

Determination of the blasting explosives materials in quarry influence on structures, often requires review of archival materials, dynamic tests and result analysis with an assessment of its potential harm to analyzed constructions. Such assessment has been described in the study, which principal purpose is to answer the question whether the vibrations induced by mining exploitations of quarry had or may have had in the past, harmful influence to the described buildings. Analysis which have been made allowed to state, that there is a relationship between damages of the described buildings and the vibrations induced by the mining works.

Keywords: building, vibrations, quarry, scale of dynamic influences

* Dr hab. inż., prof. PK – Politechnika Krakowska, Instytut Mechaniki Budowli
** Dr inż. – Politechnika Krakowska, Instytut Mechaniki Budowli

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

Podziemna, jak również odkrywkowa eksploatacja górnicza, może stanowić źródło drgań, będących potencjalną przyczyną szkód górniczych powstałych na powierzchni. Rozwój przemysłu wydobywczego, a także wzrost zurbanizowania powoduje, iż coraz więcej obiektów położonych na powierzchni znajduje się w zasięgu tych drgań.
W przypadku pojawienia się uszkodzeń budynków, których powstanie byłoby wiązane przez właścicieli z działalnością górniczą pojawi się pytanie, czy drgania wzbudzane poprzez eksploatację górniczą mogą być szkodliwe dla konstrukcji tych budynków. W celu określenia wpływu prowadzonej eksploatacji górniczej na rozważane obiekty, często konieczny jest przegląd materiałów archiwalnych, przeprowadzenie pomiarów drgań oraz także ich analiza wraz z oceną ewentualnej szkodliwości na konstrukcję budynków. Takiej właśnie ocenie zostały poddane budynki opisywane w artykule, którego zasadniczym celem jest odpowiedź na pytanie, czy drgania wzbudzane eksploatacją kamieniołomu mogą być, czy też mogły być w przeszłości, szkodliwe dla konstrukcji analizowanych obiektów.

2. Charakterystyka eksploatacji górniczej

Surowiec – kamień gipsowy niezbędny do produkcji gipsu, pozyskiwany jest metodą wiertniczo-strzałową. Odstrzały materiałów wybuchowych (MW) wykonywane są w długich otworach. System eksploatacji surowca jest ścianowy, a eksploatacja prowadzona jest na dwóch poziomach. Odległości wykonywania robót strzałowych w stosunku do rozważnych obiektów były zmienne i zależne od miejsc odpaleń (MW) na ścianie.

W okresie od stycznia 1991 r. do stycznia 1992 r. realizowane były odstrzały (MW) w odległości ok. 1120–1350 m od analizowanych budynków. W okresie od grudnia 2001 do stycznia 2002 roku, miejsca prowadzenia robót strzałowych na poziomie I i II wyrobiska górniczego zlokalizowane były w odległości ok. 1350–1500 m od rozważanych obiektów. W tabeli 1 zestawiono wybrane informacje dotyczące charakterystyk odstrzałów (MW) w kamieniołomie za okres od 1998 do maja 2002 roku.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Tabela 1

Wybrane charakterystyki odstrzałów (MW) kamieniołomie

Data	Liczba otworów	Q_l *) [kg]	Q_c +) [kg]	Q_z #) [kg]	Uwagi
1998	6	30.4	213	30.4	ściana wschodnia – poz. II – ładunek ciągły
1998	6	96	576	48	ściana wsch. – poz. I – ładunek dzielony z opóźnieniem wewnątrzotworowym
13.12.2001	7	82.14	575	41.07	ładunek dzielony
14.12.2001	7	82.14	575	41.07	ładunek dzielony
08.01.2002	7	82.14	575	41.07	ładunek dzielony
10.01.2002	7	82.14	575	41.07	ładunek dzielony
22.02.2002	7	-	575	41.07	ładunek dzielony – poz. I
26.02.2002	7	-	575	41.07	ładunek dzielony – poz. I
28.02.2002	12	-	535	44.6	ściana płn. – poz. II – ładunek ciągły
08.05.2002	11	48	530	48	poz. II – ładunek ciągły
10.05.2002	7	82	575	41	ładunek dzielony – poz. I

*) – ładunek w otworze
+) – ładunek w serii
#) – ładunek na opóźnienie

3. Opis konstrukcji analizowanych obiektów

Analizowane obiekty to dwa budynki mieszkalne jednorodzinne oznaczone jako 32A oraz 32 a także budynek gospodarczy. Wszystkie obiekty położone są na działce przylegającej bezpośrednio do drogi, w odległości od około 3,0 do ok. 16,0 m od niej, por. rys. 7. Szczegółowym analizom dynamicznym podlegały jedynie budynki mieszkalne.

3.1. Budynek mieszkalny 32A

Budynek 32A (rys. 1) został zbudowany w 1991 r. wg projektu typowego MS-10. Jest to obiekt wolnostojący o trzech kondygnacjach, bez podpiwniczenia z pomieszczeniem kotłowni obniżonym ok. 1,0 m poniżej poziomu przyziemia. Posadowiony jest na żwiro-betonowych ciągłych ławach. Ściany zewnętrzne o grubości 37cm wykonane są z cegły wapienno-piaskowej oraz bloczków gazobetonowych spojonych zaprawą cem.-wap. Konstrukcyjne ściany wewnętrzne o grub. 25 cm wykonano z cegieł. Nad pierwszą kondygnacją wykonano stropy typu FERT-45, natomiast nad poddaszem drewniane stropy belkowe otynkowane. Balkony wykonano w postaci żelbetowych płyt wspornikowych. Dach dwuspadowy o więźbie drewnianej kryty eternitem niskofalistym. Wymiary budynku w rzucie wynoszą 10,50 x 9,40 m.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Rys. 1. Budynek mieszkalny 32A - elewacja południowa

Fig. 1. Residential house 32A - southern elevation

3.2. Budynek mieszkalny 32

Parterowy budynek mieszkalny 32 (rys. 2) zbudowany został w 1956 r. Podobnie jak budynek 32A jest on obiektem wolnostojącym, bez podpiwniczenia. Posadowiono go na kamiennym fundamencie, ściany zewnętrzne wykonano z kamienia, konstrukcyjne ściany wewnętrzne z cegieł. Zastosowano drewniane stropy, które zostały otynkowane. Dach dwuspadowy o więźbie drewnianej kryty dachówką ceramiczną.

Rys. 2. Budynek mieszkalny 32 - elewacja północna

Fig. 2. Residential house 32 - northern elevation

4. Stan techniczny analizowanych budynków

W obydwu budynkach mieszkalnych stwierdzono wiele uszkodzeń zlokalizowanych zarówno wewnątrz nich, jak i na zewnątrz. Uszkodzenia te występują praktycznie we wszystkich elementach konstrukcyjnych. Znaczny stopień ich nagromadzenia w budynku 32 sprawił, iż pozostawał on niezamieszkany i nie podlegał bieżącej konserwacji.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

W tabelach 2 i 3 przedstawiono szczegółowe zestawienie uszkodzeń stwierdzonych w analizowanych obiektach.

Tabela 2

Zestawienie uszkodzeń stwierdzonych w budynku 32A

Uszkodzenia zewnętrzne zlokalizowane w obszarze elewacji:	
Południowej	W poziomie przyziemia: pionowe rysy pod oknem i między oknami. W poziomie pierwszej kondygnacji: przy lewych drzwiach balkonowych rysa pionowa o długości 0.5 m, liczne odspojenia zaprawa-pustak (por. rys. 3). W poziomie II kond.: nad prawymi drzwiami balkonowymi w nadprożu rysa pionowa. Liczne odspojenia zaprawa- pustak. Rysa na obrzeżu okna nad II kond.
Północnej	W poziomie przyziemia: liczne pionowe i ukośne zarysowania i pęknięcia głównie w ścianach podokiennych (por. rys. 4). W poziomie pierwszej kondygnacji: schodkowe odspojenia zaprawa-pustak.
Wschodniej	W poziomie pierwszej kondygnacji: schodkowe odspojenia zaprawa-pustak. Liczne pionowe zarysowania.
Zachodniej	W poziomie przyziemia i pierwszej kondygnacji: zarysowania pionowe i ukośne rysy przez dwie kondygnacje.

Uszkodzenia wewnętrzne w:	
Zagłębieniu kotłowni	Zlokalizowane w północno-zachodniej części domu, pionowe zarysowania w północnej ścianie.
Przyziemiu	• Kuchnia (zlokalizowana w płd.-zach. części domu). Podłogowe płytki kamienne 30x30 cm – pęknięcia w prostopadłych do siebie kierunkach. • Podcień stanowiący wejście do budynku oraz dobudowane pom. gospodarcze – zarysowania i pęknięcia w narożach spowodowane wymuszonym zdylatowaniem części niskiej od budynku głównego, rysy na stropie.
Poziomie pierwszym, mieszkalnym	• Pokój w części płd.-zach. budynku. Ściana kominowa – rysy i pęknięcia pionowe, poziome, ukośne. Rysa ukośna od ściany kominowej w stronę nadproża drzwi wewnętrznych. W narożu ścian pionowe pęknięcie, zarysowanie na stropie (wzdłuż dźwigara stropowego). • Pokój w części płn.-zach. budynku. Ściana kominowa – rysy i pęknięcia pionowe, rysy w narożu ścian. Zarysowanie stropu – przejście w rysę na ścianie środkowej. • Balkon wspornikowy – rysa równoległa do krawędzi przy pręcie zbrojeniowym.
Poziomie drugim mieszkalnym (poddasze)	• Pokój w części płd.-zach. budynku. Pionowa rysa w narożu ścian przechodząca na strop. W stropie pęknięcie równoległe do belek stropowych, naruszony tynk.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

	• Pokój w części północnej. Ściana podokienna – pęknięcie, rozerwana tapeta. Ściana południowa – dwa pęknięcia, rozerwana tapeta, naruszony tynk, uszkodzone pustaki (por. rys. 5). Rysa w narożu strop-ściana. Strop – rysy i pęknięcia. • Pokój w części płd.-wsch. budynku. Ściana okienna - rysa pozioma w nadprożu. Ściana północna - zarysowanie pionowe i poziome. Zarysowania w narożu ścian. Pęknięcia w narożu strop-kosz dachowy. Pęknięcie w nadprożu drzwiowym. Zarysowanie na stropie równoległe do belek stropowych. • Korytarz – rysa w narożu strop-ściana.

T a b e l a 3

Zestawienie uszkodzeń stwierdzonych w budynku 32

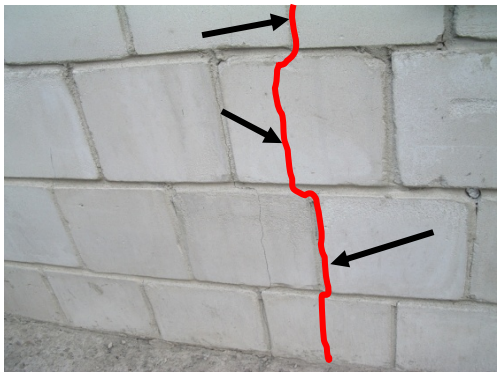
Uszkodzenia zewnętrzne zlokalizowane w obszarze elewacji:	
Południowej	Pęknięcia ukośne i poziome pod oknami oraz przy narożniku płd.-zach. Liczne ubytki tynku w pasie dolnym ściany.
Północnej	Ukośne pęknięcia ścian podokiennych, pęknięcia i rozwarstwienia w kierunku naroża płn.-zach.
Wschodniej	Poziome rysy ponad linią stropu. Liczne ubytki tynku w górnej części ściany szczytowej.
Zachodniej	Bardzo silne pęknięcia pionowe, ukośne. Rozsunięcia elementów kamiennych ściany w dolnej części, naroża płn.-zach. Liczne ubytki tynku.
Uszkodzenia wewnętrzne w pomieszczeniach części:	
Południowo-wschodniej	Zarysowania na ścianie i nadprożu drzwiowym.
Południowo-zachodniej	Zarysowania na nadprożu drzwiowym.
Północno-zachodniej	Liczne pęknięcia na ścianie w okolicy drzwi a także na nadprożu drzwiowym. Zarysowania na stropie (por. rys. 6.) W narożniku płn.-zach. pod rozerwanymi tapetami odspojenia, pęknięcie narożnika.
Północno-wschodniej	Liczne pęknięcia ścian wewnętrznych i zewnętrznych, pionowe pęknięcia w ścianie podokiennej, na ścianie kominowej, zarysowania na stropie równoległe do ściany zewnętrznej.

Wybrane przykłady uszkodzeń zlokalizowanych w ww. obiektach pokazano na rys. 3–6.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

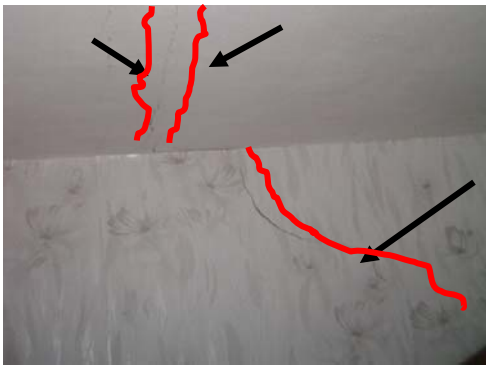
Rys. 3. Odspojenie zaprawa-pustak, pęknięcie mur nadokienny - budynek 32A

Fig. 3. Detaching mortar-block, crack in the wall over the window - building No. 32A



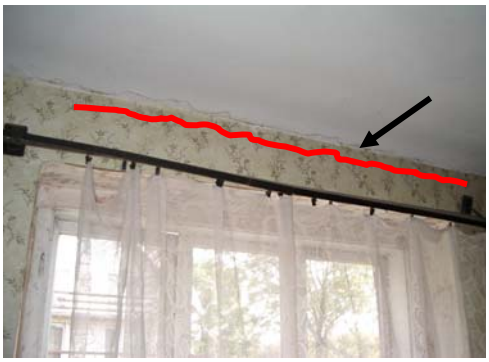
Rys. 4. Zarysowania i pęknięcia - ściany podokienne - budynek 32A

Fig. 4. Scratches and cracks - walls bellow the window - building No. 32A



Rys. 5. Pęknięcie stropu, rozerwana tapeta - ściana płd., budynek 32A

Fig. 5. Fracture of the ceiling, torn wallpaper - south wall, building No. 32A



Rys. 6. Pęknięcie naroża strop - ściana, budynek 32

Fig. 6. Fracture located in the corner ceiling-wall, building No. 32

5. Opis przeprowadzonych pomiarów drgań

Badania dynamiczne przeprowadzono w dwóch dniach pomiarowych. Podstawowym źródłem drgań budynków były odstrzały (MW) w pobliskim kamieniołomie. W pierwszym i drugim dniu pomiarowym zrealizowano po jednym odstrzale (MW) odpowiednio na I i II poziomie eksploatacyjnym. Odstrzały te zrealizowano przy zastosowaniu technologii długich otworów odchylonych od pionu. Miejsca odpalenia ładunków były oddalone od badanych obiektów o ok. 1530–1550 m. Były to odległości nieco większe niż w latach 2001–2002. W tabeli 4 zamieszczono wartości wielkości charakteryzujących odstrzały (MW).

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Tabela 4

Charakterystyka odstrzałów (MW) zrealizowanych podczas badań

Dzień pomiarowy	Liczba otworów w serii [szt.]	Q_l *) [kg]	Q_c +) [kg]	Q_z #) [kg]	Skład odpalanego (MW) [kg]	
					Emulgit LWC Alan 1	Hanal 1U
I	18	48.61	875	48.61	100	775
II	14	80.35	1125	80.35	75	1050

*) – ładunek w otworze
+) – ładunek w serii
#) – ładunek na opóźnienie

Badania dynamiczne dotyczyły składowych poziomych drgań gruntu i budynku, które mierzono w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach równoległych do osi poprzecznej i podłużnej obiektów. We wszystkich przypadkach kierunek x przyjęto „na kamieniołom" natomiast kierunek y prostopadły do x. Kierunek x odpowiadał kierunkowi równoległemu do osi poprzecznych budynków, a kierunek y był równoległy do kierunku osi podłużnych.

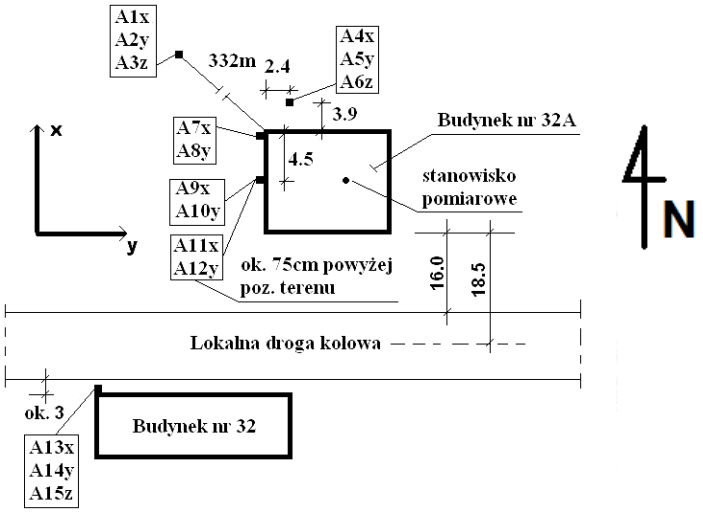
W dniu drugiego pomiaru rejestrowano również przebiegi drgań budynków wywołane ruchem komunikacyjnym. Zarejestrowano kilka przejazdów pojazdów samochodowych z uwagi na ograniczony ruch drogą (droga o charakterze lokalnym).

Przeprowadzone wstępne analizy oraz wyniki wcześniejszych wieloletnich badań charakteru drgań swobodnych budynków o podobnej konstrukcji pokazały, że częstotliwości ich drgań są niskie [4].

Stosownie do tego rodzaju drgań wybrano aparaturę kontrolno-pomiarową, która składała się z akcelerometrów, czterokanałowych wzmacniaczy, 16-kanałowego rejestratora, oscyloskopu oraz komputera klasy PC ze specjalistycznym oprogramowaniem do analizy danych pomiarowych. W budynkach akcelerometry zamocowano w ten sposób, aby zarejestrowane przebiegi drgań w poziomie fundamentów posłużyć mogły do oceny ich szkodliwości na badane obiekty zgodnie z zaleceniem normy [5]. Na rysunku 7 pokazano ustawienie czujników podczas pomiarów wraz z ich numeracją oraz podaniem mierzonej składowej drgań.

Na rysunkach 8 i 9 pokazano wybrane punkty pomiarowe wraz z akcelerometrami i sposobem ich mocowania do fundamentu budynku nr 32A oraz na gruncie za pomocą specjalnie przygotowanego krzyżaka [3].

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 7. Ustawienie akcelerometrów podczas pomiarów drgań

Fig. 7. Setting of the accelerometers during vibrations measurements

Rys. 8. Punkt pomiarowy umiejscowiony na fundamencie budynku

Fig. 8. Measuring point located on the building foundation

Rys. 9. Punkt pomiarowy umiejscowiony na gruncie

Fig. 9. Measuring point located on the ground

6. Analiza wyników pomiarów drgań budynków

W tabeli 5 zestawiono maksymalne wartości przyspieszeń drgań gruntu oraz rozważanych budynków pomierzone w czasie badań dynamicznych. Z zestawienia widać, że w pierwszym dniu pomiarowym uzyskano większe wartości maksymalnych przyspieszeń drgań praktycznie we wszystkich punktach pomiarowych. Odstrzał tym dniu został wykonany na II poziomie eksploatacyjnym, przy mniejszym ładunku całkowitym (MW) i mniejszym ładunku (MW)

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

przypadającym na otwór i zapalnik w porównaniu do odstrzału zrealizowanego w dniu drugim, kiedy to odstrzał wykonano na I poziomie eksploatacyjnym – por. tab. 4. Ponieważ odległości miejsc odpaleń (MW) od rozważanych budynków w obu dniach pomiarowych były praktycznie takie same, może to sugerować, że odstrzały (MW) realizowane na II poziomie eksploatacyjnym wzbudzały drgania o większej intensywności.

Tabela 5

Zestawienie maksymalnych wartości zarejestrowanych przyspieszeń drgań [cm/s^2] wywołanych odstrzałami (MW)

Czujnik	A1x	A2y	A3z	A4x	A5y	A6z	A7x	A8y	A9z	A10x	A11y	A12z	A13x	A14y	A15z
Odstrzał w I dniu pom.	77.83	69.40	72.90	39.00	35.29	73.50	11.11	6.03	20.47	10.79	4.94	14.59	28.84	19.04	21.47
Czujnik	A1x	A2y	A3z	A4x	A5y	A6z	A7x	A8y	A9x	A10y	A11x	A12y	A13x	A14y	A15z
Odstrzał w II dniu pom.	52.18	44.89	36.36	23.03	22.35	38.35	4.55	6.22	4.59	5.75	4.56	17.83	13.11	12.53	11.68

Aby ocenić poziom ewentualnej redukcji drgań na styku podłoże gruntowe – budynek, zestawiono, a następnie porównano, max wartości pomierzonych przyspieszeń drgań gruntu przed budynkiem 32A od strony kamieniołomu (por. rys. 7) i drgania fundamentu budynku w poziomie terenu. Pozwoliło to wyznaczyć współczynniki redukcji drgań poziomych w kierunku x (W_{Rx}) i kierunku y (W_{Ry}), które zamieszczono w tabl. 6.

Tabela 6

Wartości współczynników W_R redukcji drgań na styku podłoże gruntowe – budynek

Współczynnik redukcji drgań [%]	Dzień pomiaru	
	I	II
W_{Rx}	71.5	80.2
W_{Ry}	82.9	72.2

Wartości obliczonych współczynników redukcji drgań są wysokie, co wynika z faktu, że poziom drgań gruntu przed budynkiem jest duży.

7. Ocena wpływu drgań na analizowane obiekty

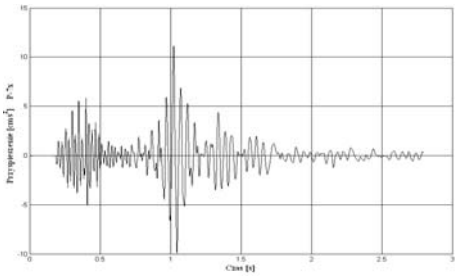
Jak wynika z wielu prac naukowo-badawczych wykonanych w Instytucie Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej dotyczących działania drgań powierzchniowych wzbudzanych robotami strzałowymi w górnictwie odkrywkowym, struktura wymuszenia spowodowanego odstrzałem (MW) jest złożona [4]. Zarejestrowane przebiegi drgań

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

wywołanych tymi wstrząsami rozkłada się na składowe prostsze o określonych częstotliwościach i na tej podstawie dokonuje się oceny ich wpływu na budynki [4]. Do oceny szkodliwości pomierzonych drgań na omawiane obiekty zastosowano skalę SWD-I normy PN-85/B-02170 pt. „*Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki*" [5]. Skala ta wraz ze skalą SWD-II przeszły wieloletnią, pozytywną weryfikację podczas licznie wykonywanych pomiarów drgań [1], [2]. Zgodnie z wymogiem w/w normy, do oceny szkodliwości drgań przyjmuje się parametry drgań pomierzone w analizowanym budynku w poziomie otaczającego terenu lub poniżej na ścianach piwnic lub fundamentach. W przypadku analizowanych obiektów były to drgania zarejestrowane za pomocą czujników zainstalowanych na fundamencie budynku nr 32A w poz. terenu (A7x i A8y – por. rys. 7) i na zewnętrznej, podłużnej ścianie nośnej budynku nr 32 (A13x i A14y – rys. 7).

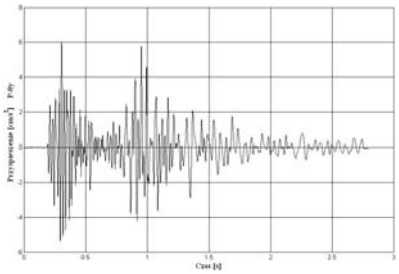
7.1. Budynek nr 32A

Na rysunkach 10 i 11 pokazano przykładowe przebiegi składowych poziomych x, y drgań fundamentu budynku w poziomie terenu zarejestrowane w pierwszym dniu pomiarowym. Wyniki analizy tercjowej składowych przebiegów drgań z rys. 10, 11, wykonanej w celu oceny szkodliwości rejestrowanych drgań dla omawianego budynku, pokazano na rys. 12 oraz 13.



Rys. 10. Przebieg składowej poziomej x drgań fundamentu budynku nr 32A

Fig. 10. Horizontal x component of the building (No. 32A) foundation vibrations

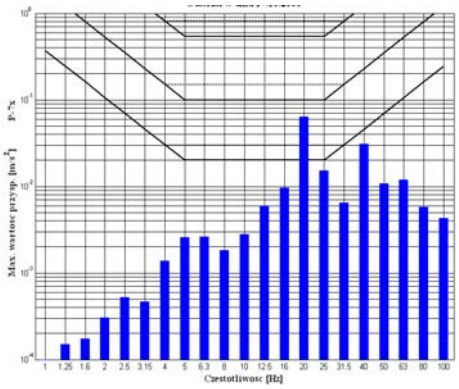


Rys. 11. Przebieg składowej poziomej y drgań fundamentu budynku nr 32A

Fig. 11. Horizontal y component of the building (No. 32A) foundation vibrations

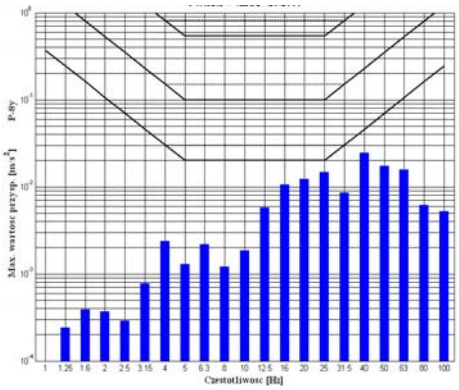
Na rysunkach 12–13 oś pionowa zawiera wartości szczytowe przyśpieszeń drgań w [cm/s^2] w pasmach 1/3 oktawowych, natomiast na osiach poziomych zamieszczono środkowe częstotliwości tercji w [Hz]. Osie zarówno poziome jak i pionowe są logarytmiczne.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 12. Wynik analizy tercjowej przebiegu składowej poziomej x drgań z rys. 10

Fig. 12. Result of the 1/3 octave analysis of the record from Fig. 10



Rys. 13. Wynik analizy tercjowej przebiegu składowej poziomej y drgań z rys. 11

Fig. 13. Result of the 1/3 octave analysis of the record from Fig. 11

Z analizy zarejestrowanych przebiegów drgań składowych poziomych x, y fundamentu budynku nr 32A prowadzonych pod kątem oceny ich szkodliwości dla konstrukcji budynku wynika, że:

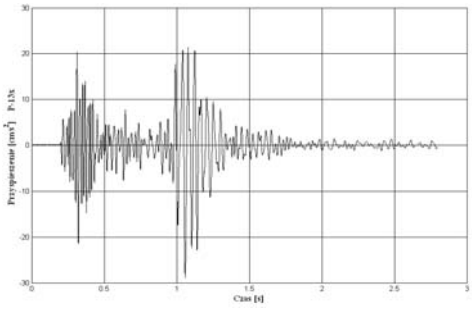
- w przypadku składowej pokazanej na rys. 10, szczytowe wartości przyspieszeń drgań w poszczególnych pasmach częstotliwościowych oraz odpowiadające im środkowe częstotliwości z znajdują się w II strefie szkodliwości skali SWD - I (por. rys. 12).
  W strefie tej drgania są odczuwalne, ale nieszkodliwe dla konstrukcji. Następuje tylko przyspieszone zużycie budynku i pierwsze rysy w wyprawach, tynkach.
- Parametry przebiegu składowej drgań z rys. 11 znajdują się w I strefie szkodliwości skali SWD - I (por. rys. 13), tj. w strefie w której drgania są nieodczuwalne przez budynek.

W przypadku danych uzyskanych w drugim dniu pomiarowym, rezultaty analiz tercjowych są analogiczne.

7.2. Budynek nr 32

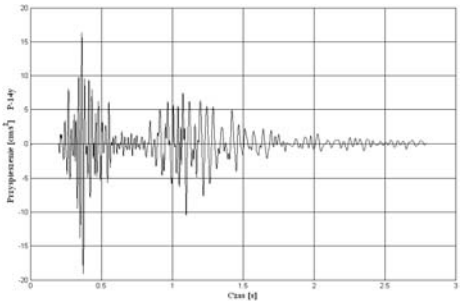
Taka sama procedura oceny szkodliwości drgań została przeprowadzona dla budynku 32. Na rysunkach 14, 15 zamieszczono przykładowe przebiegi składowych poziomych x, y drgań fundamentu budynku w poziomie terenu zarejestrowane w drugim dniu pomiarowym.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 14. Przebieg składowej poziomej x drgań fundamentu budynku nr 32

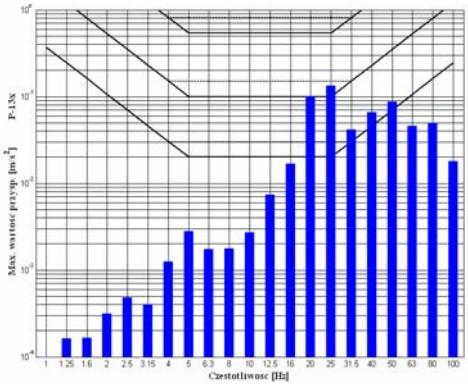
Fig. 14. Horizontal x component of the building (No. 32) foundation vibrations



Rys. 15. Przebieg składowej poziomej y drgań fundamentu budynku nr 32

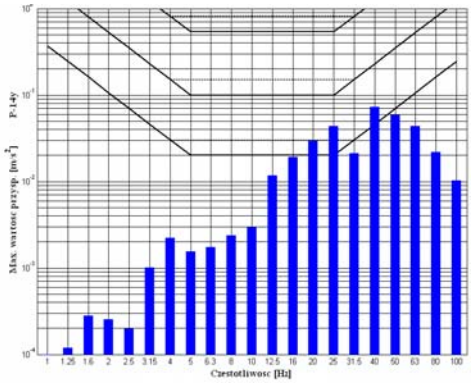
Fig. 15. Horizontal y component of the building (No. 32) foundation vibrations

Rysunki 16, 17 przedstawiają wyniki analizy tercjowej (1/3 oktawowej) składowych przebiegów drgań odpowiednio z rys. 14, 15.



Rys. 16. Wynik analizy tercjowej przebiegu składowej poziomej x drgań z rys. 14

Fig. 16. Result of the 1/3 octave analysis of the record from Fig. 14



Rys. 17. Wynik analizy tercjowej przebiegu składowej poziomej y drgań z rys. 15

Fig. 17. Result of the 1/3 octave analysis of the record from Fig. 15

Analizy tercjowe zarejestrowanych przebiegów drgań składowych poziomych x, y fundamentu budynku nr 32 pozwalają stwierdzić, że:

- parametry przebiegu drgań (szczytowe wartości przyspieszeń drgań w poszczególnych pasmach częstotliwościowych i odpowiadające im środkowe częstotliwości) z rys. 14 znajdują się w III strefie szkodliwości skali SWD - I (por. rys. 16), tj. w strefie w której drgania są szkodliwe dla budynku, powodują lokalne zarysowania i spękania, przez co osłabiają konstrukcję budynku i zmniejszają jego nośność oraz odporność na dalsze wpływy dynamiczne.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

- Szczytowe wartości przyspieszeń drgań z rys. 15, w poszczególnych pasmach częstotliwościowych a także odpowiadające im środkowe częstotliwości, znajdują się w II strefie szkodliwości skali SWD - I (por. rys. 17). W strefie tej drgania są odczuwalne, ale nieszkodliwe dla konstrukcji, następuje jedynie przyspieszone zużycie budynku i pojawiają się pierwsze rysy w wyprawach, tynkach.

W okresie od stycznia 1991 r. do stycznia 1992 r. miejsca odpalania (MW) znajdowały się bliżej analizowanych budynków. Można przypuszczać, że po wybudowaniu budynku nr 32A, podlegał on znacznie intensywniejszym drganiom w stosunku do zarejestrowanych w dniach pomiarów. Charakter stwierdzonych uszkodzeń w trakcie wizji lokalnej potwierdza, że parametry wcześniejszych drgań, mogły znaleźć się nawet w III strefie skali SWD - I, a zatem być szkodliwe dla budynku, osłabiać jego konstrukcje i zmniejszyć jego nośność oraz odporność na dalsze wpływy dynamiczne.

7.3. Wpływ drgań komunikacyjnych na analizowane budynki

W czasie wykonywania pomiarów ruch kołowy drogą w sąsiedztwie obiektów był ograniczony. Przejechało kilkanaście samochodów osobowych, które wzbudzały drgania o niskiej intensywności, udało się zarejestrować także drgania od przejazdu ciężkich samochodów – dostawczego, ciężarówki z piaskiem oraz autobusu. W tabeli 7 zestawiono maksymalne wartości przyspieszeń składowych poziomych i pionowych drgań zarejestrowanych na fundamentach budynku nr 32 i 32A.

Tabela 7

Zestawienie maksymalnych wartości zarejestrowanych przyspieszeń drgań [cm/s^2] wywołanych ruchem komunikacyjnym

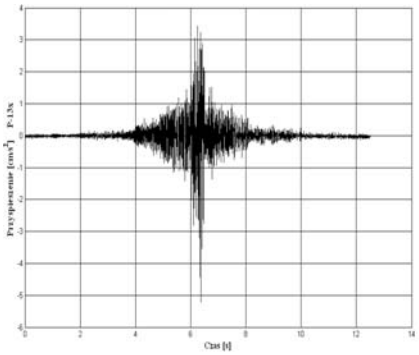
Przejazd:	Czujnik					
	A7x	A8y	A9z	A13x	A14y	A15z
dostawczy bus	0.23	0.16	0.32	3.68	1.82	1.98
ciężarówka z piaskiem	0.23	0.24	0.24	5.22	2.55	2.21
autobus	0.27	0.24	0.29	4.07	2.07	1.99

Przykładowo na rys. 18 pokazano przebieg składowej poziomej x najintensywniejszych drgań wzbudzonych na fundamencie budynku nr 32 od przejazdu ciężarówki z piaskiem.

Analogicznie jak w przypadku drgań wywołanych odstrzałem (MW), przeprowadzono analizy tercjowe zarejestrowanych przebiegów drgań komunikacyjnych. Na rysunku 19 zamieszczono wynik analizy tercjowej przebiegu składowej poziomej x drgań pokazanego na rys. 18.

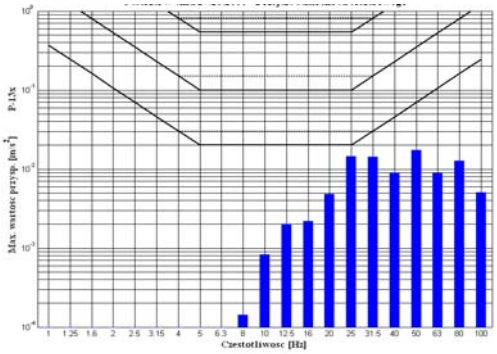
Parametry tych drgań mieszczą się w I strefie skali SWD - I, co oznacza, że nie są one odczuwalne przez budynek. Również analiza pozostałych przebiegów składowych drgań poziomych x, y fundamentu budynków nr 32 i 32A wywołanych ruchem komunikacyjnym, pozwala stwierdzić, iż są one nieszkodliwe dla konstrukcji rozważanych.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ



Rys. 18. Przebieg składowej poziomej x drgań fundamentu bud. nr 32A - przejazd ciężarówki z piaskiem

Fig. 18 Horizontal x component of the building (No. 32A) foundation vibrations due to passage of truck filled with sand



Rys. 19. Wynik analizy tercjowej przebiegu drgań z rys. 18

Fig. 19. Result of the 1/3 octave analysis of the record from Fig. 18

8. Wnioski i uwagi końcowe

Na podstawie analizy wyników badań budynków podlegających drganiom spowodowanym odstrzałami (MW) w kamieniołomach i oceny szkodliwości tych drgań na budynki, studium literatury, a także analizy wyników pomiarów drgań wzbudzanych odstrzałami (MW) można stwierdzić, iż zachodzi przyczynowo-skutkowy związek między uszkodzeniami omawianych budynków a drganiami wzbudzanymi odstrzałami materiału wybuchowego w kamieniołomie. Poziom drgań budynków mógł spowodować ich konstrukcyjne a także niekonstrukcyjne uszkodzenia. Przyczyny tak dużego rozmiaru uszkodzeń nie można upatrywać w niskiej jakości wykonania budynków, czy też w słabych materiałach konstrukcyjnych. W takim bowiem wypadku pojawić mogłyby się tylko rysy a nie pęknięcia, lub ewentualnie uszkodzenie konkretnego - jednego elementu.

L i t e r a t u r a

[1] C i e s i e l s k i R., K a w e c k i J., *Doświadczalna weryfikacja skal wpływów dynamicznych na budynki (SWD)*, XIX Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, 1973, t. 1, s. 29-37.

[2] C i e s i e l s k i R., K a w e c k i J., *Weryfikacja doświadczalna skal SWD, Wpływy sejsmiczne na budowle*, Materiały z sympozjum naukowego Sekcji Mechaniki Konstrukcji KILiW PAN i Inst. Mechaniki Budowli PK, Kraków 1979, s. 165-175.

[3] M a c i ą g E., T a t a r a T., *Badania drgań gruntu i niskich budynków od wpływu komunikacji miejskiej*, Inżynieria i Budownictwo, 3/2005, s. 135-140.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

[4] T a t a r a T., *Badania naukowe i diagnozy dotyczące ocen działania na obiekty budowlane drgań wzbudzanych robotami strzałowymi w górnictwie odkrywkowym*, Bezp. pracy i ochrona środowiska w górnictwie WUG 4(164)/2008, s. 16-25.
[5] Norma PN-85/B-02170, Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
[6] Komentarz do normy PN-85/B-02170, Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki, COBPBO, Warszawa 1988.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ