

dr inż. Juliusz Kus¹⁾mgr inż. Piotr Bobra¹⁾prof. dr hab. inż. Zbigniew Zembaty^{1)*}

Porównawcze obliczenia wpływu wstrząsów górniczych na przykładową halę stalową i żelbetową

Comparative computations of the effect of mine tremors on steel and reinforced concrete hall structure

DOI: 10.15199/33.2015.06.16

(Studium przypadku)

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki przykładowych obliczeń wpływu efektów sejsmicznych na konstrukcję hali stalowej i żelbetowej przewidzianych do realizacji na terenach eksploatacji górniczej LGOM. Przedyskutowano różnice w efektach tych wpływów na siły wewnętrzne w przypadku obu typów konstrukcji. **Słowa kluczowe:** inżynieria sejsmiczna, spektra odpowiedzi, Metoda Elementów Skończonych, konstrukcje stalowe, konstrukcje żelbetowe.

Abstract. The paper reports results of design computations of a steel structure and reinforced concrete building, subjected to mine tremors effects in the Polish copper basin LGOM. Difference in these effects for internal forces of both types structures are discussed in detail.

Keywords: seismic engineering, response spectra, Finite Element Method, steel structures, reinforced concrete structures.

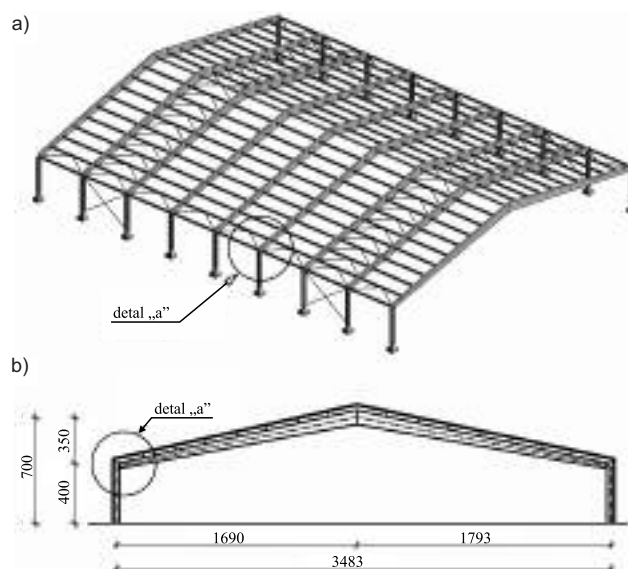
W artykułach [1, 2] opisano procedurę sprawdzania wpływów sejsmicznych na nowo projektowane budynki na terenach górniczych LGOM, która jest wynikiem badań wykonanych dla KGHM PM S.A. w latach 2009 – 2012 [3], do których zaadaptowano europejską normę sejsmiczną Eurokod 8 [4]. Celem artykułu jest przedstawienie wyników obliczeń wg [3] przykładowej konstrukcji stalowej i żelbetowej, na podstawie których pokazano udział obciążeń wywołanych wstrząsami górniczymi w porównaniu z oddziaływaniami od obciążeń stałych i użytkowych.

Założenia do obliczeń

Analizowane budynki posadowione są na gruntach opisanych w Eurokodzie 8 [2] dynamiczną amplifikacją podłoża typu „C”. Przyspieszenie projektowe przyjęto równe $0,6 \text{ m/s}^2$ (strefa IV wpływów sejsmicznych LGOM o prognozowanej prędkości podłoża 6 cm/s [1,3]). W obliczeniach uwzględniono dwa modele pracy konstrukcji: liniowy ze spektrum odpowiedzi sprężystej i niesprężysty z zastosowaniem spektrum odpowiedzi plastycznej [1]. Wykonano je w programie *Autodesk Robot Structural Analysis 2015*, implementującym metodę elementów skończonych i metodę spektrum odpowiedzi w dynamice konstrukcji.

Charakterystyka hali stalowej

Analizowana hala stalowa przedstawiona na rysunku 1 ma wymiary w rzucie $44 \times 35 \text{ m}$ i wysokość 7 m . Składa się z dwuprzegubowych ram w rozstawie co $5,5 \text{ m}$. W analizie odpowiedzi sejsmicznej hali stalowej najbardziej miarodajną siłą wewnętrzną jest moment zginający w narożu ryglu i słupa (detal „a” na rysunku 1). Wyniki obliczeń momentów zginających od obciążeń stałych i użytkowych oraz momenty zginające dla dwóch modeli pracy konstrukcji wynikających z efektów obciążeń sejsmicznych przedstawiono w tabeli 1. Wynika z nich, że stosunek wartości momentów zginających pochodzą-



Rys. 1. Model MES (a) oraz przekrój poprzeczny (b) stalowej hali z zaznaczonym narożnikiem „a” (wymiarów podano w cm)

Fig. 1. FEM model (a) and cross section (b) of the steel hall with a marked node „a” (dimensions in centimetre)

Tabela 1. Obliczone momenty zginające w narożu „a” na rysunku 1
Table 1. Bending moments calculated in the node „a” (see Fig. 1)

Rodzaj obciążenia	Momenty zginające [kNm]	
Obciążenie stałe (ciężar własny konstrukcji nośnej i pokrycia dachowego)	169,5	
Obciążenie wpływem wstrząsów górniczych $a_p = 0,6 \text{ m/s}^2$	podjęcie liniowe	71,1
	podjęcie „niesprężyste”, $q = 1,5$	42,4
Obciążenie wiatrem	118,5	
Obciążenie śniegiem	333,4	

¹⁾ Politechnika Opolska, Wydział Budownictwa

^{*} Autor do korespondencji: e-mail: z.zembaty@pwr.edu.pl

cych od obciążenia sejsmicznego do wartości momentów od ciężaru własnego konstrukcji nośnej hali i pokrycia dachu wynosi $71,1/169,5 = 0,42$; a do momentu od obciążenia wiatrem $71,1/118,5 = 0,6$. Należy podkreślić, że zależność taka jest specyficzna w przypadku lekkiej konstrukcji hali stalowej, w której obciążenie wiatrem jest istotne w porównaniu z ciężarem własnym. Stosunkowo lekka konstrukcja hali sprzyja zmniejszeniu działających na nią sejsmicznych sił bezwładności.

Żelbetowy budynek usługowy

Drugim analizowanym rodzajem konstrukcji jest budynek żelbetowy zaprojektowany jako konstrukcja monolityczna z dachem w konstrukcji stalowej (rysunek 2). Obciążenia stałe od ciężaru dachu i zmienne (od śniegu i obciążenia technologicznego) przenoszone są na konstrukcję żelbetową przez wysokoprofilowane blachy trapezowe i belki stalowe. Blacha trapezowa oparta jest bezpośrednio na skrajnych trójprzęsłowych ryglach żelbetowych i wewnętrznych dwuprzęsłowych belkach stalowych. Wymiary rzutu budynku to $23,5 \times 21,0$ m, a wysokość 7,5 m. Głównymi elementami nośnymi są poziome rygle żelbetowe o wymiarach $0,25 \times 0,60$ m i $0,25 \times 0,40$ m, połączone sztywno ze słupami żelbetowymi o wymiarach $0,25 \times 0,25$ m. Elementy żelbetowe stanowią zewnętrzny szkielet konstrukcji budynku. Rozstaw słupów wewnętrznych układu nośnego wynosi 4,20 m. Słupy posadowione są przegubowo na fundamentach.

Schemat pracy konstrukcji żelbetowej różni się w sposób zasadniczy od hali stalowej. Przede wszystkim konstrukcja ta zbudowana jest na siatce słupów o nieregularnym rozstawie. W przypadku tej konstrukcji analizowano dwa narożniki: połączenie rygla i słupa (detal „a” na rysunku 2) oraz dodatkowe połączenie wewnętrznego podciągu żelbetowego ze słupem (detal „b” na rysunku 2). Z powodu ewidentnych różnic dotyczących wymiarów oraz schematu statycznego hali stalowej i żelbetowej, analizowa-

no momenty zginające w zaznaczonych na rysunku 2 miejscach są znacznie mniejsze niż w przypadku konstrukcji stalowej hali. Jak wynika z tabeli 2, udział efektów dynamicznych w odniesieniu do efektów od obciążeń ciężarem własnym i użytkowym jest znacznie większy. W przypadku naroża „a” stosunek wartości momentu zginającego od obciążenia sejsmicznego do momentu od obciążenia stałego i użytkowego wynosi $25,1/8,71 = 2,9$, natomiast stosunek wartości momentu zginającego od obciążenia sejsmicznego do momentu od obciążenia wiatrem $25,1/3,1 = 8,1$. W przypadku węzła oznaczonego jako „b” na rysunku 2 wielkości te są odpowiednio równe $34,61/3,81 = 9,1$ i $34,61/1,76 = 19,7$. Podejście niesprężyste znacznie obniża wartości momentów zginających od wstrząsów górniczych (o 43,4%).

Tabela 2. Obliczone momenty zginające w punktach „a” i „b” (rys. 2) budynku o konstrukcji żelbetowej

Table 2. Bending moments calculated at nodes „a” and „b” (see Fig. 2) of the reinforced concrete building

Rodzaj obciążenia	Momenty zginające [kNm]	
	detal „a”	detal „b”
Obciążenie stałe (ciężar własny konstrukcji nośnej i pokrycia dachowego)	8,71	3,81
Obciążenie wpływem wstrząsów górniczych $a_p = 0,6$ m/s ²	podjęście liniowe	25,1
	podjęście „niesprężyste”, $q = 1,5$	14,2
Obciążenie wiatrem	3,1	1,76
Obciążenie śniegiem	0,5	0,03

Tak znaczna różnica w zachowaniu się konstrukcji żelbetowej w porównaniu ze stalową wynika ze znacznie większej masy konstrukcji żelbetowej, prowadzącej do większych sejsmicznych sił bezwładności oraz mniejszych sił od obciążeń użytkowych i stałych (rozłożonych tu na więcej słupów) przenoszonych przez analizowane węzły konstrukcji żelbetowej.

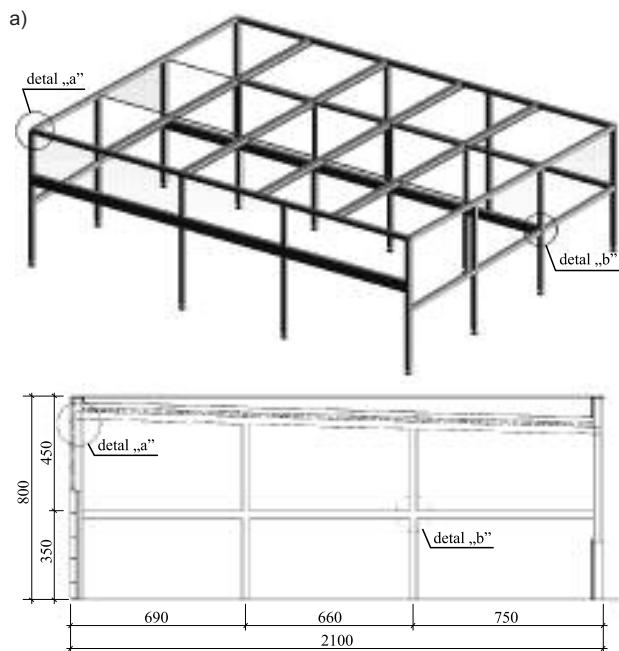
Wnioski

Analiza wyników obliczeń podanych w tabelach 1 i 2 wskazuje na znaczny udział sił dynamicznych wynikających z obciążenia wstrząsami górniczymi obu analizowanych konstrukcji. Schematy pracy statycznej i dynamicznej obu analizowanych konstrukcji różnią się znacznie, co uniemożliwia wyciąganie zbyt ogólnych wniosków. Mimo to można zauważyć, że w obu przypadkach udział sił sejsmicznych jest znaczący, ale szczególnie duży w przypadku bardziej masywnej konstrukcji żelbetowej.

Literatura

- [1] Zembaty Z., Kokot S.: Adaptacja sejsmicznych norm projektowania konstrukcji do ujęcia wpływu wstrząsów górniczych na budowie, Przegląd Górniczy, vol. 70, 2014, s. 72-77.
- [2] Zembaty Z., Kokot S., Bozzoni F., Scandella L., Lai C. G., Kuś J., Bobra P.: A system to mitigate deep mine tremor effects in the design of civil infrastructure, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, vol. 74, 2015, s. 81-90.
- [3] Zembaty Z., Lai C., Kokot S., Scandella L., Bozzoni F., Nowak H., Kuś J., Bobra P., Jaśkiewicz K., Król P.: Wytyczne branżowe do projektowania obiektów kubaturowych w LGOM na wpływy dynamiczne od wstrząsów górniczych. Raport Politechniki Opolskiej dla KGHM S.A., tom 1 i 2, 2012, s. 1-177.
- [4] PN-EN 1998-1-6 Eurokod 8: Projektowanie konstrukcji poddanych oddziaływaniom sejsmicznym

Otrzymano 29.04.2015 r.



Rys. 2. Model MES (a) oraz przekrój poprzeczny (b) budynku usługowego o konstrukcji żelbetowej z zaznaczonymi punktami krytycznymi (detal „a” i „b”)

Fig. 2. FEM model (a) and cross section (b) of the reinforced concrete service building with the selected critical nodes (detail „a” and „b”)