

inż. Piotr Bońkowski¹⁾
dr inż. Maciej Yan Minch^{1)*}

Wpływ nieregularności bryły budynku na siły wewnętrzne wywołane wstrząsami górniczymi

Effect of irregular shape of building on internal forces caused by mining tremors

DOI: 10.15199/33.2015.06.19

(Studium przypadku)

Streszczenie. W artykule omówiono problemy związane z wpływem nieregularnego rzutu poziomego bryły budynku na siły wewnętrzne w konstrukcji wywołane wstrząsem parasejsmicznym. Przedstawiono porównawczą analizę numeryczną konstrukcji budynku o zróżnicowanym rzucie poziomym, który został poddany oddziaływaniom parasejsmicznym występującym na obszarze LGOM.

Słowa kluczowe: szkody górnicze, analiza numeryczna, obciążenia dynamiczne.

Abstract. The article discusses problems associated with the irregular settlement effect of building internal forces caused by paraseismic loads. Numerical analysis of varied models depend on the irregular settlement as well as dynamic loads appearing in LGOM area were presented.

Keywords: mining damage, numerical analysis, dynamic loads.

Jednym z podstawowych zaleceń dotyczących kształtowania bryły obiektów na terenach szkód górniczych jest zachowanie regularności konstrukcji w poziomie i w pionie [1, 3]. Odstępstwo od tej zasady może doprowadzić do zwiększenia sił wewnętrznych wywołanych skręcaniem, nierównomiernym dystrybuowaniem odporności sejsmicznej na dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach czy lokalnym zwiększeniem koncentracji naprężeń w elementach nośnych. Czynniki te mogą prowadzić do powstania dodatkowych uszkodzeń w elementach konstrukcyjnych budynku.

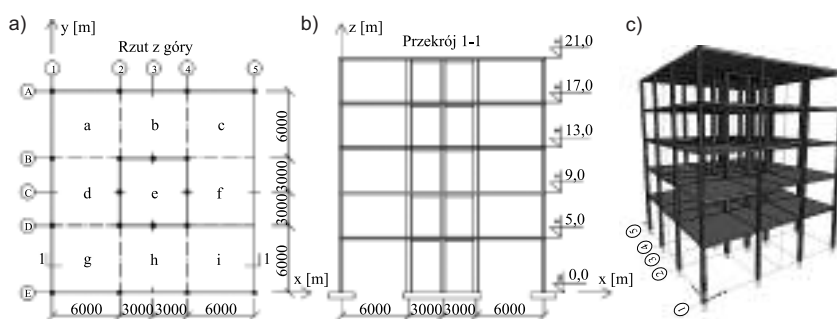
Aktualne zalecenia dotyczące obliczania konstrukcji poddanych oddziaływaniom parasejsmicznym zawarto w dwóch przybliżonych metodach [2, 3] określonych w normie EC-8 [1]. **Metoda zastępczego obciążenia poziomego** służy do obliczania konstrukcji uznanych w [1] za regularne, a **metoda bazująca na spektrum odpowiedzi** do obliczania konstrukcji regularnych i nieregularnych programami MES.

Analiza porównawcza

Model 1 (bazowy) o regularnej konstrukcji i zwartej bryle poddany analizie pokazano na rysunku 1. Osie konstrukcyjne wydzielają 9 pól oznaczonych kolejno literami od *a* do *i*. Układ nośny budynku stanowi osiem żelbetowych słupów wewnętrznych

¹⁾ Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*}) Autor do korespondencji:
e-mail: maciej.minch@pwr.edu.pl



Rys. 1. Osie modułowe (a, b) i widok 3D modelu bazowego (c)

Fig. 1. Modular axes (a, b) and 3D base model view (c)

o przekroju 40 x 40 cm (spiętych belkami żelbetowymi o przekroju 20 x 40 cm) znajdujących się na obwodzie pola *e* oraz dwa nacięcie żelbetowych słupów zewnętrznych o przekroju 30 x 30 cm (rysunek 1). Stropy poszczególnych kondygnacji wykonano jako monolityczne płyty żelbetowe grubości 20 cm. Słupy na obwodzie pola *e* zamocowano w podłożu sprężysto ($k_z = 467$ MN/m), a w przypadku pozostałych przyjęto $k_z = 225$ MN/m. W obliczeniach uwzględniono ciężar własny elementów oraz obciążenie na stropach o wartości 3,85 kN/m² na czterech pierwszych kondygnacjach i o wartości 1,78 kN/m² na ostatniej kondygnacji wynikające z dodatkowych warstw stropowych oraz obciążenia użytkowego. Kolejne modele utworzono przez usunięcie pól *a* i *c* (model 2); pól *a, b, c, f, i* (model 3) oraz pól *b, c, h, i* (model 4). W celu wykonania obliczeń numerycznych podzielono konstrukcję prętową (słupy i belki) i powierzchniową (stropy) na elementy skończone.

Modele utworzono w programie SAP2000 wersji 17.1. W modelu 2b siły wewnętrzne od kolejnych postaci drgań dodano wg metody SRSS, a w pozostałych zastosowano metodę CQC. W analizie wykorzystano metodę spektrum odpowiedzi zdefiniowaną dla terenu LGOM wg Zembatego [3] (przyjęto teren C i przyspieszenie $a = 0,6$ m/s²). Pominięto wpływ mimośrodowo na powstanie dodatkowych sił wewnętrznych. Obliczenie sił wewnętrznych na wysokości obiektu wykonano dla różnych słupów pola *e*.

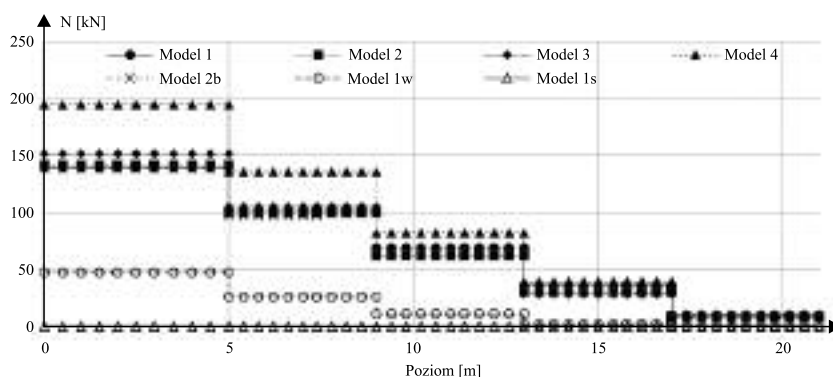
Okresy drgań własnych konstrukcji różnych modeli przedstawiono w tabeli, a wartości bezwzględne sił wewnętrznych od obciążeń wywołanych wstrząsami górniczymi na wysokości słupa w węźle 4D, wartości bezwzględne sił wewnętrznych od poziomego obciążenia wiatrem, obliczone dla I strefy wiatrowej $q = 0,73$ kN/m² (Model 1w) oraz od obciążenia konstrukcji momentem skręcającym powstałym od 5% mimośrodowo mas (Model 1s) na rysunkach 2 – 4.

Okres drgań własnych [s]
 Period of free vibration [s]

Forma drgań	Model			
	1	2	3	4
1	1,936	1,858	1,754	1,803
2	1,759	1,646	1,455	1,545
3	1,754	1,574	1,124	1,436
4	0,608	0,584	0,550	0,563
5	0,550	0,514	0,450	0,478
6	0,549	0,491	0,348	0,443
7	0,334	0,322	0,303	0,308
8	0,302	0,282	0,244	0,259
9	0,302	0,269	0,202	0,240
10	0,222	0,214	0,189	0,203
11	0,203	0,189	0,172	0,175
12	0,202	0,180	0,160	0,171
13	0,173	0,172	0,154	0,170
14	0,172	0,170	0,143	0,158
15	0,172	0,164	0,132	0,154
16	0,169	0,145	0,132	0,145
17	0,168	0,144	0,130	0,144
18	0,156	0,142	0,130	0,142
19	0,156	0,137	0,124	0,141
20	0,142	0,137	0,122	0,141

Podsumowanie

W analizie zwrócono uwagę na kilka czynników, które decydują o bezpieczeństwie żelbetowego budynku szkieletowego na terenach szkód górniczych. Kombinacje obciążeń z udziałem wstrząsów górniczych mogą być bardzo istotne przy wymiarowaniu konstrukcji. W analizowanym przypadku (rysunki 1, 2 i tabela) dodatkowe siły osiowe od obciążeń dynamicznych w słupach na poziomie fundamentów są ok. 3 razy większe od wywołanych obciążeniem wiatru. W przypadku momentów są dwukrotnie większe (rysunek 4). Różnice te będą mniejsze, jeżeli uwzględni się zwiększone współczynniki bezpieczeństwa w kombinacjach ULS (analiza statyczna) oraz zmniejszone współczynniki materiałowe w kombinacjach wyjątkowych (analiza dynamiczna). Należy jednak zauważyć, że podczas wstrząsu górniczego słupy są zginane ukośnie. Nieuwzględnienie efektów skręcania budynku w wyniku losowych mimośrodków mas prowadzi do niedoszacowania sił wewnętrznych. Różnice momentów M_y dla modelu 2 (zależnie od wybranej kombinacji drgań własnych CQC i SRSS) wynoszą ok. 10% i w zależności od analizowanego przypadku mogą być większe [4]. Okresy drgań własnych poszczególnych modeli konstrukcji budynku są do siebie zbliżone (tabela), ale siły osiowe w modelu 4 znacznie różnią się od pozostałych (rysunek 2). Na podstawie analizy nie można jednoznacznie określić wpływu poszczególnych



Rys. 2. Wykres sił osiowych N w słupie w węźle 4D

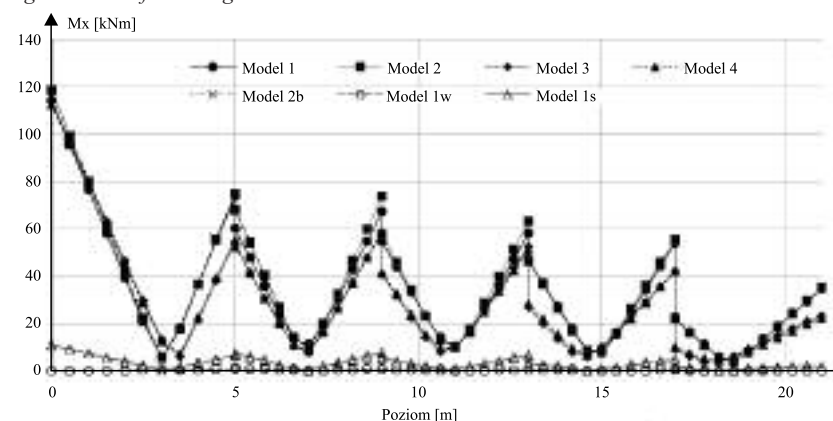
 Fig. 2. N axial force diagrams in a column in the node 4D

 Rys. 3. Wykres momentów M_x w słupie w węźle 4D

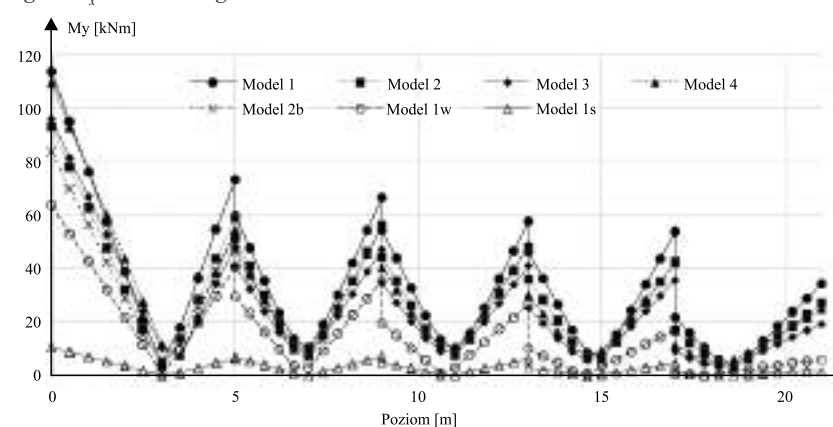
 Fig. 3. M_x moments diagrams in a column in the node 4D

 Rys. 4. Wykres momentów M_y w słupie w węźle 4D

 Fig. 4. M_y moments diagrams in a column in the node 4D

nieregularności bryły budynku na wartości sił wewnętrznych pochodzących od wstrząsu górniczego. Przedstawiona analiza pokazuje, jak istotne dla bezpieczeństwa konstrukcji jest uwzględnienie obciążeń dynamicznych występujących na terenach eksploatacji górniczej.

Literatura

[1] PN-EN 1998-1:2005. Projektowanie konstrukcji poddanych oddziaływaniom sejsmicznym. Część 1: Reguły ogólne, oddziaływania sejsmiczne i reguły dla budynków.

[2] Szulc J., Lipski Z., Kawulok M., Cholewicki A.: Zasady ustalania obciążeń i sprawdzania stanów granicznych budynków lokalizowanych na terenach górniczych w nawiązaniu do Eurokodów. Warszawa, ITB, 2012.

[3] Zembaty Z. i inni: Wytyczne branżowe do projektowania obiektów kubaturowych w LGOM na wpływ dynamiczne od wstrząsów górniczych. Tom I – Wytyczne projektowe. Opole, Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, 2012.

[4] Chopra Anil K.: Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. Fourth Edition. Prentice Hall 2012.

Otrzymano 15.04.2015 r.