

Analiza wyężenia kominów żelbetowych zlokalizowanych na terenach górniczych



dr hab. inż.
RAJMUND ORUBA, PROF. AGH
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska
ORCID: 0000-0003-0299-1461

W artykule przedstawiono wyniki analizy obliczeniowej wpływu nachyleń terenu i wstrząsów parasejsmicznych spowodowanych podziemną eksploatacją górnictwem na bezpieczeństwo kominów żelbetowych.

Podziemna eksploatacja złóż powoduje wiele niekorzystnych oddziaływań na terenie górniczym. Główne z nich to ciągłe deformacje powierzchni terenu nad wybranym pokładem oraz parasejsmiczne wstrząsy podłoża gruntowego [1, 2]. Na powierzchni terenu nad wyrobiskiem kształtuje się tzw. niecka obniżeniowa, która charakteryzuje się następującymi wskaźnikami: obniżenie terenu w , przemieszczenie poziome u , odkształcenia poziome ϵ , nachylenie terenu T , promień krzywizny R . W zależności od wartości poszczególnych wskaźników określa się kategorie terenów górniczych: od I do V [1]. Efektem podziemnej eksploatacji górnictw są także wstrząsy podłoża gruntowego. W Polsce największą intensywność wstrząsów górniczych obserwuje się w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW) oraz Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym (LGOM).

Oddziaływania te mogą spowodować uszkodzenia (szkody górnicze) w obiektach budowlanych. Jeśli występuje konieczność eksploatacji złóż pod obiektami budowlanymi, niezbędna jest wcześniejsza ocena odporności istniejącej zabudowy na wpływy górnicze.

Artykuł dotyczy wpływu ciągłych deformacji terenu i wstrząsów podłoża spowodowanych eksploatacją górnictwem na bezpieczeństwo tradycyjnych, jednoprzewodowych kominów żelbetowych. Podstawowe znaczenie dla bezpieczeństwa kominów żelbetowych ma nachylenie terenu T [2, 3, 4]. O zagrożeniu bezpieczeństwa decydują w tym przypadku dodatkowe momenty zginające, wywołane działaniem ciężaru na wychyleniach trzonów żelbetowych. Parasejsmiczne wymuszenia kinematyczne generują w trzonach nośnych wysokich kominów głównie poziome siły bezwładności [1, 5].

Wpływ górniczych nachyleń terenu

Analizie obliczeniowej poddano cztery tradycyjne, jednoprzewodowe komin żelbetowe o wysokości od 120 do 220 m wybudowane w latach 70. XX wieku. Kominy te mają monolityczne żelbetowe trzony nośne z przylegającą do trzonu izolacją termiczną i wymurówką wewnętrzną. Podstawowe dane geometryczne tych obiektów przedstawiono w tabeli 1. Obiekty te zaprojektowano według normy PN-64/B-03004 *Kominy murowane i żelbetowe*. Zgodnie z założeniami projektowymi żelbetowe trzony tych kominów wykonano z betonu marki $R_w=200$ kG/cm². Stopień zbrojenia pionowego wynosi 0,3%, a poziomego 0,2%. (tab 1.)

Obliczenia wykonano zgodnie z wymaganiami normy PN-88/B-03004 [3]. Jako kryteria oceny bezpieczeństwa kominów przyjęto:

a) wartość dopuszczalnych naprężeń ściskających w betonie oraz ściskających i rozciągających naprężeń w stali zbrojeniowej trzonu żelbetowego:

$$\sigma_b \leq 0,65 \cdot R_{bk}$$

$$\sigma_a \leq 0,7 \cdot R_{ak}$$

gdzie R_{bk} , R_{ak} – wytrzymałość charakterystyczna, odpowiednio betonu i stali; dla betonu klasy B17,5 (dawna marka $R_w = 200$ kG/cm²) i stali A-0 wielkości te wynoszą:

$R_{bk}=13,2$ MPa, $R_{ak}=220,0$ MPa [6].

b) stosunek naprężeń krawędziowych pod fundamentem ($q_{max}/q_{min} \leq 5,0$),

c) wielkości wychyleń sprężystych wierzchołka komina ($y_w \leq H_0/200$, H_0 – wysokość trzonu).

W obliczeniach zastosowano metodę elementów skończonych w sformułowaniu przemieszczeniowym. Model numeryczny oparto na elementach ramowych o 3 stopniach swobody w węźle. Komin zamodelowano jako wspornik utwierdzony w fundamencie spoczywającym na podłożu sprężystym, uwzględniając zmienność przekroju po wysokości trzonu nośnego. Podziału na elementy skończone dokonano tak, aby węzły modelu znajdowały się w punktach charakterystycznych dzielących trzon na segmenty, zgodnie z układem poszczególnych „bębnów” wymurówki wewnętrznej (głównie co 10 m). Dodatkowo każdy segment podzielono na elementy skończone o długościach nieprzekraczających 1 m. Uwzględniono wpływ momentów drugiego rzędu. Analizę wykonano przy pomocy specjalnie w tym celu opracowanego programu umożliwiającego obliczenie: obciążenia wiatrem, obciążenia ciężarem własnym oraz od nachylenia terenu, ekstremalnych odkształceń i naprężeń normalnych w betonie oraz stali, naprężeń krawędziowych

Tabela 1. Charakterystyka geometryczna badanych kominów

Lp.	Wysokość H [m]	Średnica zewnętrzna trzonu żelbetowego		Grubość ściany trzonu żelbetowego	
		poziom wylotu [m]	poziom ±0,00 [m]	poziom wylotu [m]	poziom ±0,00 [m]
1	120	5,40	8,40	0,15	0,30
2	150	4,76	9,16	0,15	0,30
3	180	4,76	10,96	0,15	0,45
4	220	5,80	13,70	0,15	0,50

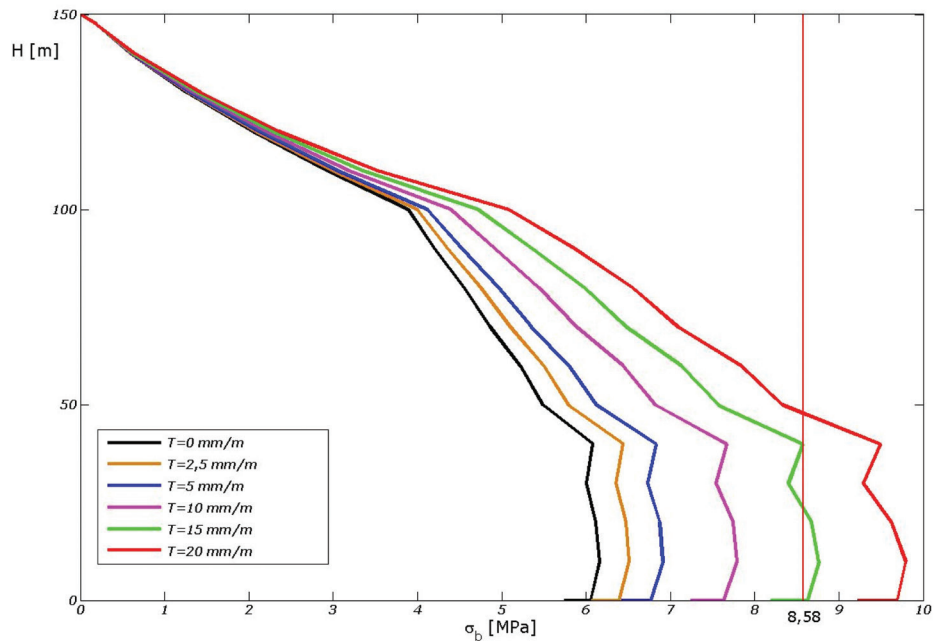
wych w podłożu gruntowym pod kołową płytą fundamentową, częstotliwości i postaci drgań własnych komina, sił sejsmicznych, a także związanych z nimi odkształceń oraz naprężeń z zastosowaniem wzorcowego spektrum odpowiedzi dla LGOM.

W analizie obliczeniowej przyjęto kierunek wiatru zgodny z kierunkiem nachylenia terenu. Uwzględniono górnicze nachylenia terenu od 2,5 do 20,0 mm/m. Ze wzrostem wychyleń następuje przyrost wartości naprężeń ściskających w betonie w dolnych partiach żelbetowych trzonów nośnych. Maksymalne ich wartości oraz poziomy występowania zestawiono w tabeli 2. Największe naprężenia występują w dolnych częściach kominów, do poziomu około 1/3 wysokości. Zróżnicowane wartości tych przyrostów są uzależnione głównie od grubości ścian trzonu i smukłości konstrukcji. Dla nachylenia 10,0 mm/m stwierdzono przekroczenie dopuszczalnych wartości naprężeń w betonie dla komina H=180 m. Dla nachylenia 20,0 mm/m wszystkie kominy wykazywały przekroczenie naprężeń dopuszczalnych. Przykładowe wykresy rozkładu naprężeń w trzonie żelbetowym komina H=150 m pokazano na rysunku 1. Wartości naprężeń ściskających w stali zbrojeniowej rosną, ale nie przekraczają wartości dopuszczalnej nawet dla największych wychyleń.

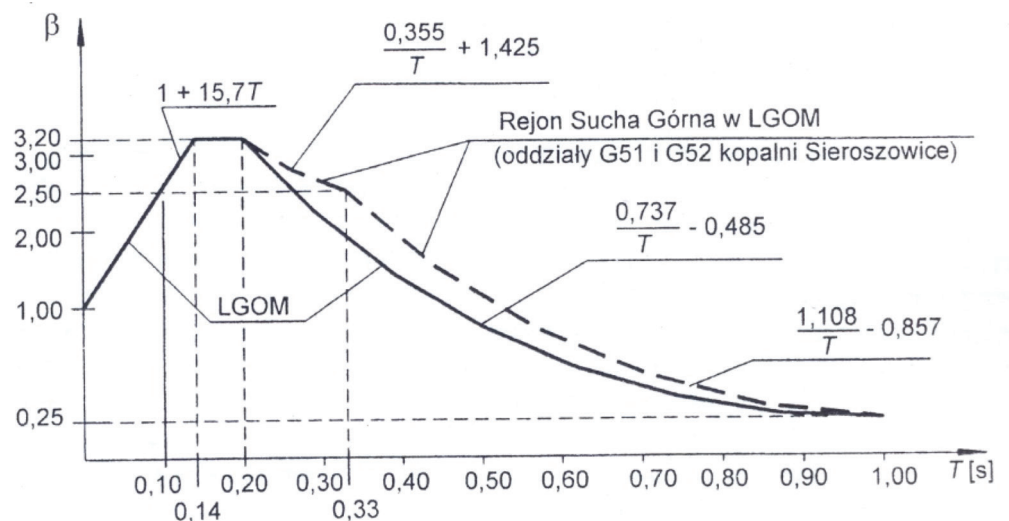
Wzrost wychyleń kominów powoduje zwiększanie się wartości naprężeń krawędziowych pod fundamentami po stronie wychylonej (q_{max}) oraz zmniejszanie naprężeń po stronie przeciwnej (q_{min}). W analizowanym przedziale nachyleń terenu tylko w przypadku komina H=220 m dla T=15,0 i 20,0 mm/m wartość q_{max}/q_{min} jest większa od wartości dopuszczalnej, wynoszącej 5,0 (odpowiednio 5,92 i 7,50).

Przy nachyleniach terenu 20,00 mm/m stwierdzono wzrost wartości wychyleń sprężystych kominów od obciążenia wiatrem o około 25% w stosunku do komina pionowego. Wartości te są mniejsze od dopuszczalnych $H_0/200$. W tabeli 3. zestawiono obliczone wartości wychyleń wierzchołków kominów tylko od obciążenia wiatrem oraz łącznych wychyleń od obciążenia wiatrem i nachylenia terenu. Należy dodać, że nawet stosunkowo duże wychylenia nie obniżają właściwości użytkowych kominów jednoprzewodowych.

Analizę odporności kominów na górnicze wstrząsy podłoża gruntowego przeprowadzono na przykładzie komina H=180 m (por. tabela 1.). Obliczenia dynamiczne z uwzględnieniem poziomych składowych drgań podłoża wykonano z wykorzystaniem wzorcowego przyspieszeniowego spektrum odpowiedzi dla LGOM (rys. 2.) [4, 7]. Siły wewnętrzne stanowią złożenie według formuły SRSS [8] dla pierwszych pięciu częstotliwości drgań własnych. Odpowiedź konstrukcji określono dla przyspieszeń podłoża o wartościach kolejno: 500, 1000, 1500 i 2000 mm/s². Wstrząsy górnicze zaliczamy zgodnie z normą [8]



Rys. 1. Wykresy naprężeń σ_b w trzonie komina K150 z uwzględnieniem górniczych nachyleń terenu T od 0,0 do 20,0 mm/m



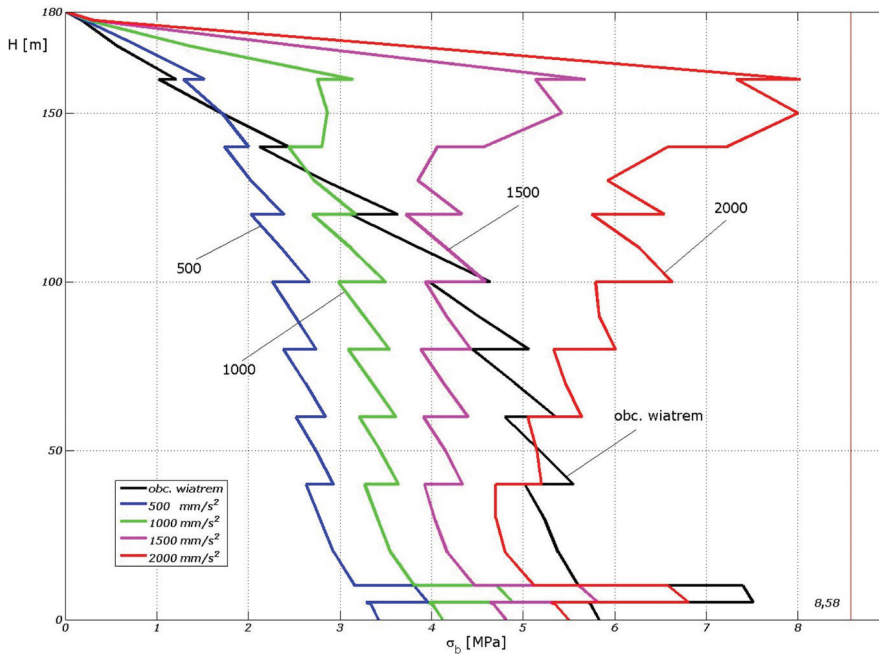
Rys. 2. Wzorcowe spektrum odpowiedzi dla LGOM [4, 7]

Tabela 2. Zestawienie maksymalnych wartości naprężeń w betonie $\sigma_{b,max}$ w żelbetowych trzonach kominów z uwzględnieniem górniczych nachyleń terenu

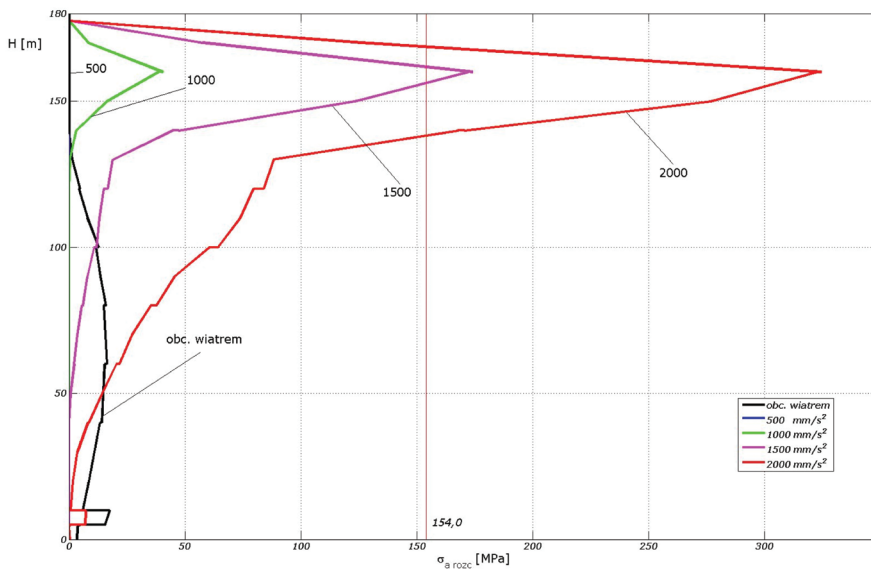
Komin H [m]	$\sigma_{b,max}$ [MPa] maksymalne naprężenia w betonie					
	H[m] poziomy występowania $\sigma_{b,max}$					
	T [mm/m] nachylenie terenu					
	0,0	2,5	5,0	10,0	15,0	20,0
K120	5,95	6,24	6,56	7,31	8,22	9,29
	+7,0	+7,0	+7,31	+7,0	+7,0	+7,0
K150	6,16	6,51	6,91	7,79	8,76	9,79
	+10,0	+10,0	+10,0	+10,0	+10,0	+10,0
K180	7,51	7,93	8,41	9,51	10,81	12,29
	+5,0	+5,0	+5,0	+5,0	+5,0	+5,0
K220	6,69	7,25	7,65	8,56	9,60	10,72
	+30,0	+50,0	+50,0	+50,0	+50,0	+50,0

Tabela 3. Wchylenia wierzchołków kominów od obciążenia wiatrem i nachylenia terenu

Komin H [m]	Wchylenie wierzchołka kominu tylko od obc. wiatrem [m]	Łączne wchylenie wierzchołka kominu od obciążenia wiatrem i nachylenia terenu T [m]				
		Nachylenie terenu T [mm/m]				
		0,0	2,5	5,0	10,0	15,0
120	0,16	0,47	0,78	1,40	2,02	2,65
150	0,38	0,78	1,18	1,99	2,79	3,60
180	0,42	0,89	1,37	2,32	3,26	4,21
220	0,63	1,22	1,80	2,97	4,14	5,31



Rys. 3. Komin K180 – naprężenia ściskające w betonie ob trzonu σ_b od sił dynamicznych ($a_p=500, 1000, 1500$ i 2000 mm/s²)



Rys. 4. Komin K180 – naprężenia rozciągające w stali zbrojeniowej $\sigma_{a_{rozcz}}$ trzonu od sił dynamicznych ($a_p = 500, 1000, 1500$ i 2000 mm/s²)

do drgań krótkotrwałych, których łączny czas trwania w ciągu doby nie przekracza 3 minut. W związku z tym w obliczeniach dynamicznych pominięto obciążenie wiatrem.

W ramach standardowego zagadnienia własnego określono częstotliwości drgań własnych i odpowiadające im postacie drgań [5]. Dla badanego kominu H=180 m wartości pierwszych pięciu częstotliwości drgań własnych wynoszą: $f_1=0,274, f_2=0,953, f_3=2,264, f_4=4,203$ i $f_5=6,788$ Hz.

Odporność kominów żelbetowych na obciążenia dynamiczne zdefiniowano jako największą wartość przyspieszenia podłoża, która nie spowoduje przekroczenia wymaganych według normy [3] wartości naprężeń ściskających w betonie $\sigma_b=0,65 \cdot R_{bk}$ oraz naprężeń ściskających i rozciągających w stali zbrojeniowej $\sigma_a = 0,7 \cdot R_{ak}$ w żelbetowych trzonach nośnych (por. wpływ górniczych nachyleń terenu).

Wykresy rozkładu naprężeń ściskających w betonie trzonu kominu H=180 m od wstrząsów podłoża przedstawiono na rys. 3. Na uwagę zasługują zarówno wartości naprężeń, jak i ich rozkład po wysokości kominu. Dla największego analizowanego przyspieszenia podłoża, tj. 2000 mm/s², już powyżej poziomu +50 m wartości naprężeń „dynamicznych” są większe od naprężeń od obciążenia wiatrem, na które komin był projektowany. Największa wartość naprężeń 8,03 MPa, występująca na poziomie +160 m, jest ponad siedmiokrotnie większa od naprężenia projektowego (bez uwzględnienia wpływów wstrząsów).

Dla przyspieszeń podłoża gruntowego 1500 i 2000 mm/s², w górnych częściach kominu występują naprężenia rozciągające w stali zbrojeniowej o wartościach znacznie przekraczających wartość dopuszczalną $\sigma_a=0,7 \cdot 220,0=154,0$ MPa (rys. 4.). Jest to podstawowe zagrożenie bezpieczeństwa wysokich kominów żelbetowych na terenach górniczych. Nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych wartości naprężeń ściskających w stali zbrojeniowej.

Podsumowanie

Wchylenia żelbetowych kominów przemysłowych, będące efektem górniczych nachyleń terenu, powodują wzrost naprężeń w ich trzonach nośnych. W przypadku smukłych wysokich kominów przy nachyleniach większych od 10 mm/m naprężenia ściskające w betonie w dolnych partiach trzonów żelbetowych mogą przekroczyć wartości dopuszczalne.

Przy górniczych wstrząsach podłoża gruntowego o przyspieszeniach powyżej 1500 mm/s² podstawowym zagrożeniem dla bezpieczeństwa kominów żelbetowych jest przekroczenie dopuszczalnych wartości naprężeń rozciągających w stali zbrojeniowej w górnych partiach ich trzonów nośnych.

Literatura

- [1] Kwiatek J., Obiekty budowlane na terenach górniczych, GIG, Katowice 2007.
- [2] Oruba R., Oddziaływanie środowiska przemysłowego i eksploatacji górniczej na bezpieczeństwo żelbetonowych kominów przemysłowych, Wydawnictwa AGH, Kraków 2010.
- [3] PN-88/B-03004:1988, Kominy murowane i żelbetowe, Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [4] Instrukcja ITB nr 364, Wymagania techniczne dla obiektów budowlanych wznoszonych na terenach górniczych, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2007.
- [5] Chmielewski T., Zembaty Z., Podstawy dynamiki budowli, Arkady, Warszawa 1998.
- [6] PN-84/B-03264, Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [7] Maciąg E., Tatara T., Drgania wzbudzone podziemną eksploatacją górniczą i ich wpływ na zabudowę powierzchniową, XXIV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Wista 2009.
- [8] PN-85/B-02170:1985, Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.

Artykuł opracowano w ramach subwencji biadańczo-rozwojowej AGH nr 16.16.150.545.

DOI: 10.5604/01.3001.0013.8791

PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA
Oruba Rajmund, 2020, Analiza wyteżenia kominów żelbetonowych zlokalizowanych na terenach górniczych, „Builder” 04 (273).
DOI: 10.5604/01.3001.0013.8791

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki analizy obliczeniowej wpływu nachyleń terenu i wstrząsów parasejsmicznych spowodowanych podziemną eksploatacją górniczą na bezpieczeństwo kominów żelbetonowych. Obliczenia wykonano z zastosowaniem metody elementów skończonych. Analizie poddano cztery kominy o wysokości od 120 do 220 m. W obliczeniach uwzględniono nachylenia terenu od 2,5 do 20 mm/m. Wykazano, że przy nachyleniach powyżej 10 mm/m mogą wystąpić przekroczenia dopuszczalnych wartości naprężeń w betonie w dolnych partiach żelbetonowych trzonów nośnych. Wpływ wstrząsów górniczych określono dla kominu H=180 m z zastosowaniem wzorcowego przyspieszeniowego spektrum odpowiedzi dla Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego. Stwierdzono, że dla silnych wstrząsów podłoża o przyspieszeniach większych od 1500 mm/s² o bezpieczeństwie kominu decydują wartości naprężeń rozciągających w stali zbrojeniowej w górnej partii kominu.

Słowa kluczowe: kominy, nachylenia, wstrząsy górnicze

Abstract: The article presents the results of the analysis of the influence of the inclination surface and tremors caused by the underground mining exploitation on the safety of reinforced concrete chimneys. The calculations were performed with the use of finite elements method. Within the calculations considering the inclinations of 2,5 ÷ 20 mm/m four chimneys 120 ÷ 200 m high were subjected to the analysis. It has been evidenced that at inclinations above 10 mm/m the permitted values of the stress in concrete may be exceeded in the lower parts of the reinforced concrete chimney shells. The influence of the mining shocks was determined for a 180 m high chimney with the use of the acceleration response spectrum for the Legnica-Glogow Copper Mining District. It has been stated that for the tremors ground of the acceleration above 1500 mm/s² the values of the tensile stress in the vertical reinforcement in the upper parts of the chimneys are decisive for the safety of the chimney.

Key words: chimneys, inclinations, mining tremors

REKLAMA



DOMINION

- Kominy Przemysłowe
- Chłodnie Kominowe
- Wieże Solarne
- Pylony Komunikacyjne
- Materiały Ogniotrwałe
- Naprawy
- Silosy

Dominion Polska sp. z o.o.

Ul. Oświęcimska 27
44-109 Gliwice POLSKA

t +48 32 279 49 32

info.bpl@dominion-global.com
www.dominion-global.com/dominion-ec

