

Lidia FEDOROWICZ, Jan FEDOROWICZ

## ANALIZA NUMERYCZNA PRACY STATYCZNEJ BUDYNKÓW MUROWYCH NA TERENACH GÓRNICZYCH

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki analizy numerycznej charakterystycznej grupy (1100) budynków murowanych narażonych na wpływy działalności górniczej. Badano wpływ sztywności konstrukcji, geometrii rzutu i parametrów podłoża na wielkości wewnętrzne powstające w budynku.

## NUMERICAL ANALYSIS OF THE STATICS BEHAVIOUR OF THE MASOURY - BUILDINGS IN MINING REGIONS

**Summary.** The results of the numerical analyses which were carried of for 1100 masoury-buildings in mining area are presented. The influence of the rigidity and geometry of structures and subsoil parameters on the statics behaviour of buildings are investigated.

### 1. Wprowadzenie

Eksploatacja górnicza, niezależnie od tempa i głębokości jej prowadzenia, wywiera zawsze negatywny wpływ na zabudowę powierzchni terenu. Obciążenia budowli powodowane tymi wpływami różnią się charakterem, kierunkiem, zasięgiem działania i częstotliwością występowania od obciążeń, na które projektuje się budowle na terenach spokojnych. Deformujący się ośrodek gruntowy powoduje na ogół powstanie w budowlach dodatkowych sił wewnętrznych, wynikających głównie z tarcia gruntu o fundamenty, wpływu zróżnicowanych przemieszczeń pionowych i poziomych podłoża oraz nachyleń terenu. Rozważając problemy budownictwa na terenach górniczych, ma się przede wszystkim na myśli projektowanie nowych budowli oraz dostosowywanie tych budowli już w fazie ich projektowania do przewidywanych deformacji terenu. Jednakże równie ważnym i obszernym zagadnieniem dotyczącym budownictwa na terenach górniczych jest oddziaływanie eksploatacji górniczej na budowle już istniejące.

Szczególnie chodzi tu o budowle starsze, wykonane w technologii tradycyjnej, przy budowie których nie uwzględniono zasad zabezpieczania przed szkodami górniczymi. Zapewnienie bezpieczeństwa tych obiektów i zachowanie ich walorów użytkowych opiera się na obowiązku spełnienia warunków normowych dla stanów granicznych nośności i użytkowania. Oznacza to, że w okresie użytkowania obiektu winien on spełniać normowe kryteria wytrzymałościowe i kryteria dopuszczalnych deformacji z dostatecznie małym prawdopodobieństwem ich przekroczenia. Dla budynków poddanych wpływom eksploatacji górniczej istnieje konieczność spełnienia normowych wymogów stanów granicznych determinujących bezpieczeństwo obiektu i jego użytkowników. Praktyka inżynierska wskazuje natomiast na powszechne przekraczanie na terenach górniczych wymagań normowych w zakresie stanów granicznych użytkowania. Budynki murowane z elementów drobnowymiarowych, poddane wpływom deformacji podłoża, stanowią z punktu widzenia inżyniera statyka złożone przestrzenne układy obliczeniowe. Fakt ten powoduje, że do obliczania występujących w tych układach sił i przemieszczeń powodowanych deformacją podłoża przyjmuje się najczęściej uproszczone modele obliczeniowe [1,2]. Otrzymane jako rezultaty obliczeń, wartości uogólnionych sił w pionowym przekroju budynku stanowią podstawę do projektowania odpowiednich zabezpieczeń budowlanych przed skutkami eksploatacji. Właściwe, a więc skuteczne i oszczędne projektowanie wymaga jednak od projektanta nie tylko przeprowadzenia odpowiednich obliczeń statyczno-wytrzymałościowych, ale również wiedzy ogólnej dotyczącej pracy konstrukcji przestrzennej budynku jako całości. W szczególności konieczna jest znajomość wpływu niektórych parametrów geometrycznych i fizycznych określających nośność i odkształcalność budynku i jego nośnych elementów składowych na zmianę wartości uogólnionych sił wewnętrznych i odkształceń budynku. Obszerne studium nad zachowaniem się budynków murowanych na terenie górniczym zawarto w [8]. W niniejszej pracy zostaną przedstawione jedynie wybrane wyniki badań numerycznych przeprowadzonych w [8] i dotyczących wpływu zmian niektórych parametrów charakteryzujących podłoże i geometrię budynku na jego wyężenie. Wyniki te uzupełniono analizą deformacji tych budynków, przy czym jako miarę tego odkształcenia przyjęto wartość maksymalnego odkształcenia postaciowego  $\gamma_{bud}$  lub maksymalnego odkształcenia poziomego  $\epsilon_{bud}$  oraz stosunek promienia krzywizny terenu górniczego do promienia krzywizny budynku  $f_t/f_b$ .

## 2. Założenia oraz opis badań numerycznych

Przedmiotem analizy są budynki mieszkalne, murowane z elementów drobnowymiarowych. Spośród wszystkich możliwych rzutów poziomych analizie poddano trzy grupy rzutów typowych oznaczonych na rys.1a. literami A,B,C. Jako model budynku w zależności od wymagań i celu obliczeń przyjmowano ruszt belkowy o węzłach przegubowych i określonych charakterystykach sztywnościowych jego elementów (rys.1b), model belkowy (rys.1c) lub przestrzenny tarczowy model SES (rys.1d). W dwóch pierwszych przypadkach, po przeprowadzeniu dyskretyzacji, układ rozwiązywano metodą sił, w ostatnim zaś metodą przemieszczeń. Dla modelu belkowego i rusztowego charakterystyki sztywnościowe na zginanie  $EJ_m$  oraz ścinanie  $GA_m$  określono wg zasad zawartych w [9]. Sztywności poszczególnych ścian budynków obliczano jak dla ustroju belkowego o wysokości  $H_{zasi}=H$ , gdy  $H/L \leq 0.75$  ( $H$  - rzeczywista wysokość budynku,  $L$  - długość budynku) oraz  $H_{zasi}=0.75L$ , jeżeli  $H/L > 0.75$  z zaokrągleniem do pełnej wysokości kondygnacji. Zakładano przy tym, że stosowane w tego typu budownictwie konstrukcje stropów upoważniają do pominięcia ich współpracy ze ścianami zginanymi. Dla przestrzennego modelu tarczowego przyjmowano natomiast, że stropy stanowią jedynie usztywniającą w płaszczyźnie poziomej budynek przeponeę o skończonej i określonej sztywności. Podłoże modelowano układem pionowych sprężyn, których sztywności wyznaczano na podstawie określonego wg [9], charakterystycznego dla podłoża winklerowskiego, współczynnika pionowej podatności  $C_p$ . W przypadku uwzględniania wpływu poziomego rozluźnienia terenu przyjmowano za [7], że pozioma podatność podłoża jest równa  $C_h=0.4C_p$ . Dla każdej grupy rzutów poziomych w obliczeniach numerycznych przyjmowano (rys. 1):

- zmianę długości rzutu  $L=9.6, 10.8, 12.0, 15.6, 18.0, 20.4, 22.8, 25.2, 27.6, 30.0, 34.8, 38.4, 40.8, 45.6$  m,
- zmianę szerokości rzutu  $B=5.0, 6.0$  m,  $B_k=1.8, 3.0$  m,
- grubości ścian piwnic  $0.38$  i  $0.51$  m, ścian nadbudowy  $0.38$  m,
- wysokość kondygnacji  $h_k = 2.8$  m, liczbę kondygnacji  $L_k=1,2,3,4$  i  $5$  oraz kondygnację piwnic, wysokość łąw fundamentowych  $1.0$  m (łąwy ceglane),
- szerokości łąw zewnętrznych i wewnętrznych w granicach  $b_f=0.38 \div 1.3$  m posegregowane w 14 zestawów dla każdej rozpatrywanej grupy rzutów poziomych budynku,

- materiał konstrukcyjny ścian - cegła pełna o wytrzymałości charakterystycznej  $R_{mk}=5, 7.5,$  i 10 MPa, zaprawa marki 0, 0.8, 1.5 i 3.0 MPa, cecha sprężystości muru  $\alpha_m=200,300$  i 650,
- podstawowe parametry podłoża  $E_o=10,20,30,40,50,100,150$  MPa,  $\phi=10^\circ\div 27^\circ$ ,  $c=0\div 50$  kPa.

Jako podstawowe obciążenie budowli przyjęto wpływ deformującego się podłoża górniczego. W tym celu dla założonej wartości parametru poziomego rozluźnienia podłoża  $\varepsilon$  określano na podstawie teorii Budryka-Knothe'go wartość podstawową promienia krzywizny terenu jako prognozowaną wartość dla terenu swobodnego:

$$R = \frac{H_e}{\sqrt{2\pi \cdot \operatorname{tg}(\beta) \cdot \varepsilon}},$$

którą w obrębie rzutu poziomego budynku korygowano przyjmując za [6]

$$R_o = \frac{R}{\xi}, \quad \xi = 1 + \frac{8 \cdot R \cdot c \cdot (\varepsilon - \varepsilon_{kf})}{L}, \quad c = \frac{\alpha_o \cdot (G_1 + G_2)}{G_1 + G_2 + 2 \cdot \Phi \cdot \alpha_o},$$

gdzie:  $\beta$ ,  $H_e$ ,  $\varepsilon_{kf}$  - odpowiednio: kąt wpływów głównych, głębokość eksploatacji, najmniejsze poziome rozluźnienie podłoża powodujące zmianę promienia jego krzywizny,

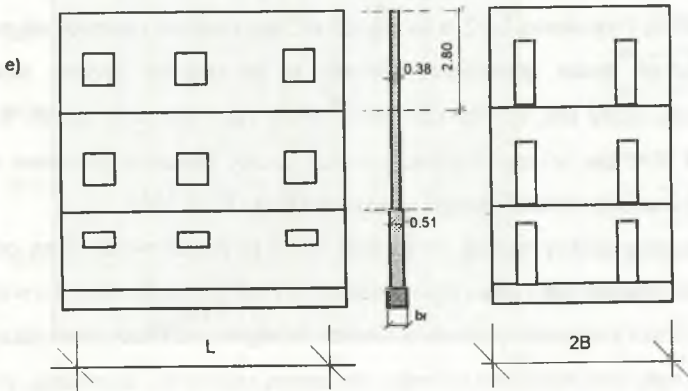
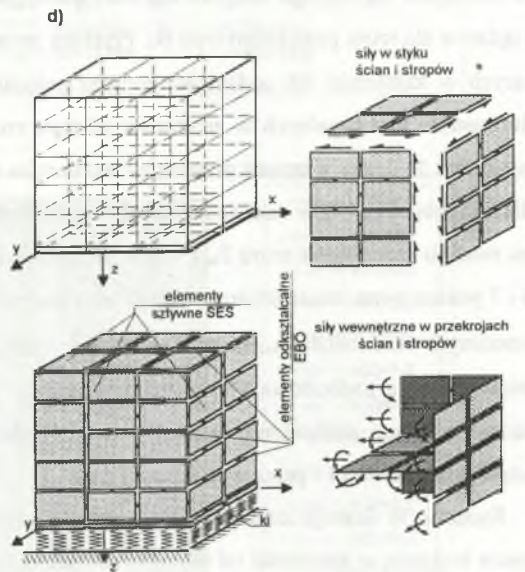
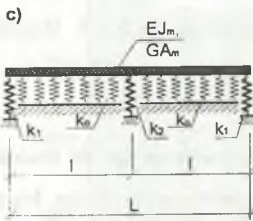
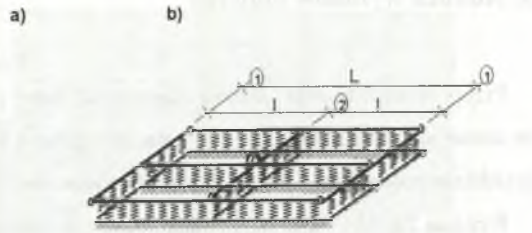
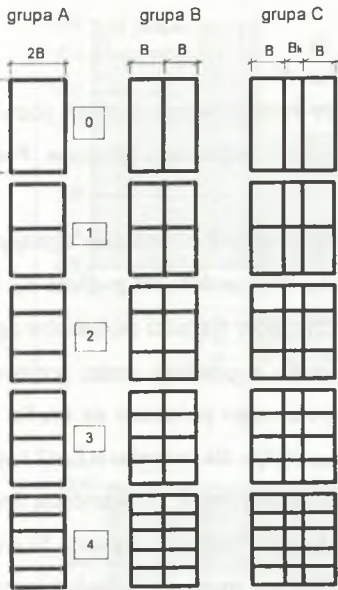
$G_1, G_2$  - moduły poprzecznej sprężystości gruntu,

$\alpha_o, \Phi$  - parametry charakteryzujące rodzaj gruntu.

Z uwagi na przybliżone oszacowania modułów  $G_1, G_2$  oraz parametrów  $\alpha_o, \Phi$  podawane w literaturze w obliczeniach uwzględniono szeroki zakres zmian współczynnika  $c$ . Przyjmowano w tym celu jako wartości znane:

- głębokość eksploatacji  $\Rightarrow H_e = 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700$  m,
- kąt wpływów głównych  $\Rightarrow \operatorname{tg}(\beta) = 2.0, 2.5, 3.0$ ,
- prognozowane wartości poziomego rozluźnienia podłoża  $\Rightarrow \varepsilon = 0.3, 1.5, 3.0, 6.0$  i 9.0 mm/m,
- wartości współczynnika  $c$  według [6]  $\Rightarrow c = 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04$  i 0.06,
- według [6] wartość  $\varepsilon_{kf} = 0.001-0.0015$  mm/m.





Rys. 1.

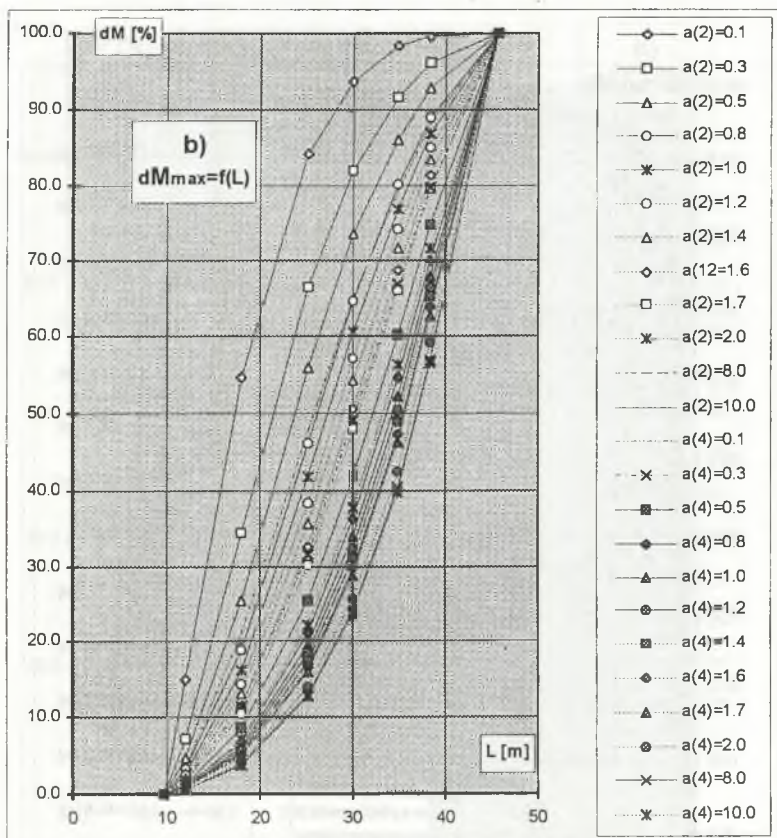
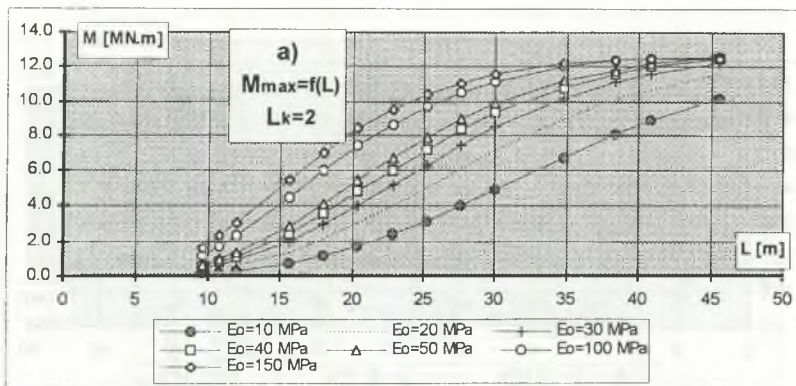
### 3. Analiza wyników obliczeń

Przeprowadzona w [8] analiza numeryczna dużej grupy budynków murowanych pozwoliła na ocenę ich zachowania się w przypadku działania wpływów eksploatacji górniczej. Poniżej przedstawiono wybrane wyniki w postaci wykresów.

Rysunki 2a, 3a i 4a przedstawiają zmiany wartości maksymalnych momentów zginających w zależności od długości budynku  $L$ , liczby kondygnacji  $L_k$  oraz modułu dla podłoża  $E_o$ , sporządzone dla rzutu poziomego typu  $B_2$ . Przebieg zmian przyrostów wartości momentów zginających w zależności od podatności podłoża pokazuje rys.4b, a przebieg zmian przyrostów momentów maksymalnych w zależności od typu rzutu poziomego pokazano na rys.5a. Rysunki 2b i 3b ilustrują zmianę przyrostów momentów  $dM_{max}(a(2))$  - dla budynku o  $L_k=2$  i  $a(4)$  - dla budynku o  $L_k=4$  w zależności od sztywności budynku opisywanej w [4] wartością iloczynu modułu sprężystości muru  $E_m$  i współczynnika  $a$  oraz długości budynku. Rysunki 5b,c oraz 6 i 7 pokazują natomiast zmiany odkształcenia budynku. Przebieg zmian maksymalnej wartości poziomych odkształceń  $\epsilon_{bud}$  ścian podłużnych budynku w zależności od warunków współpracy ścian piwnic z nadbudową i stropami oraz rodzaju podłoża obrazują rys 6 i 7. Współpracę ściany piwnic z nadbudową opisano współczynnikiem liczbowym  $ro=0-0.15$  ( $ro=0$  - brak współpracy,  $ro=0.15$  - pełna współpraca - [3]).

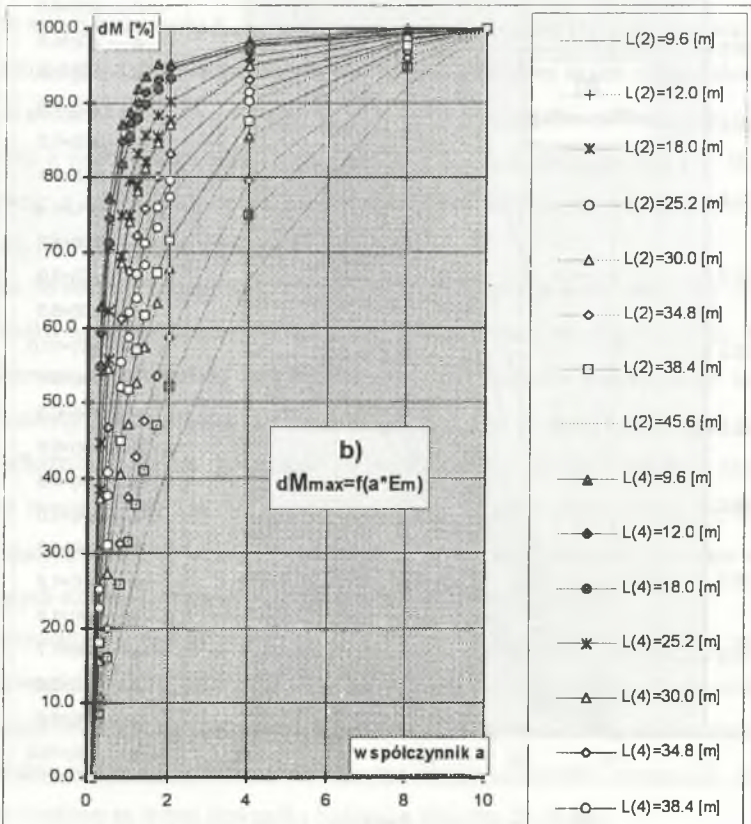
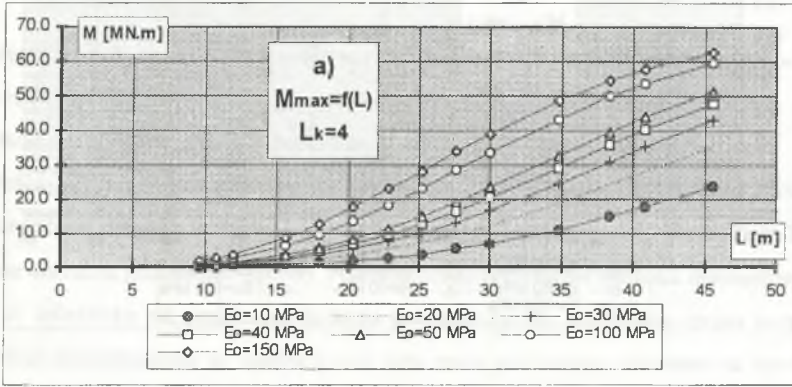
Rysunek 5b ilustruje zmianę stosunku strzałki wygięcia terenu swobodnego do strzałki wygięcia budynku w zależności od długości budynku i typu rzutu poziomego budynku. Na rysunku 5c natomiast przedstawiono zmianę globalnego odkształcenia postaciowego budynku o rzucie poziomym  $B_2$  i wysokości  $L_k=2$  w zależności od jego długości i założonych prognozowanych odkształceń terenu górniczego. Warunki te na rysunku opisano następująco:  $w1 \Rightarrow \epsilon=0.3$  mm/m,  $R=40$  km,  $w1 \Rightarrow \epsilon=1.5$  mm/m,  $R=20$  km,  $w1 \Rightarrow \epsilon=3$  mm/m,  $R=12$  km,  $w1 \Rightarrow \epsilon=6$  mm/m,  $R=6$  km,  $w1 \Rightarrow \epsilon=9$  mm/m,  $R=4$  km. Liczby całkowite podawane w nawiasach okrągłych oznaczają wartości modułu sprężystości muru  $E_m$  w MPa.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że budynki niskie są mocno wrażliwe na zmianę zarówno sztywności podłoża, jak i sztywności konstrukcji. Przy wysokości budynku większej niż 4 kondygnacje zmiana podatności podłoża jest istotna szczególnie dla budynków dłuższych niż 15 m. Podobny wpływ na wyężenie budynku ma zmiana sztywności konstrukcji, przy czym najbardziej wrażliwe są w tym przypadku budynki o długości 20-30 m.



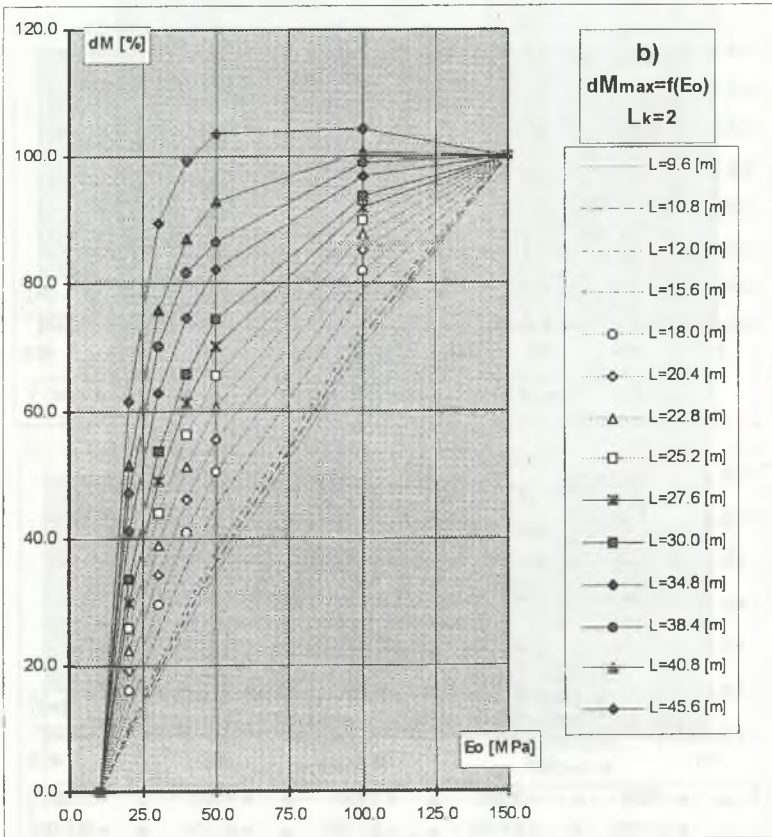
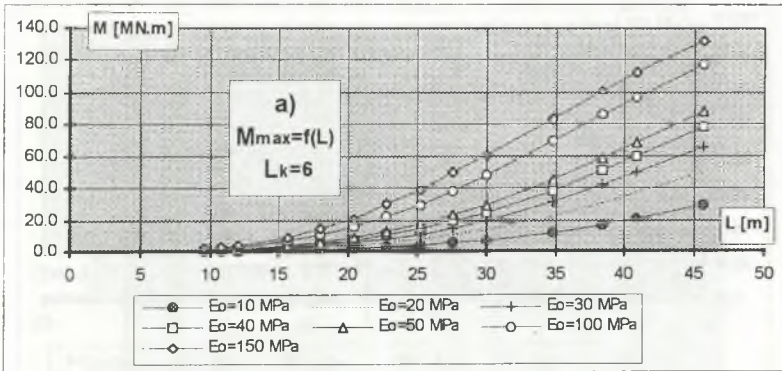
Rys. 2.



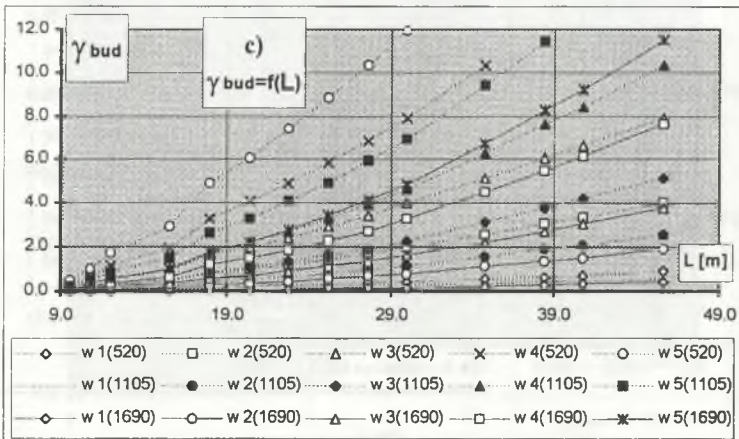
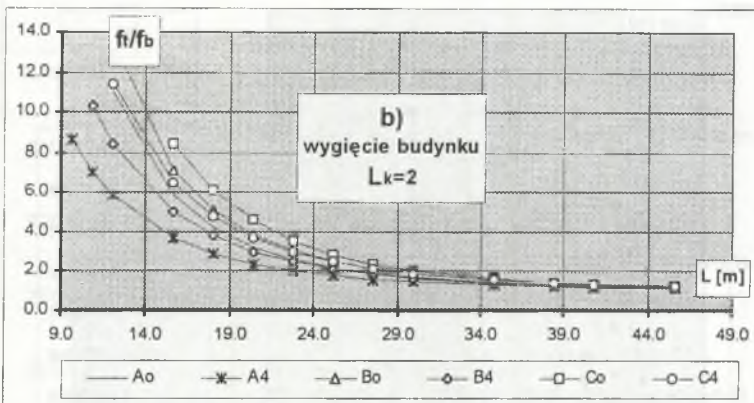
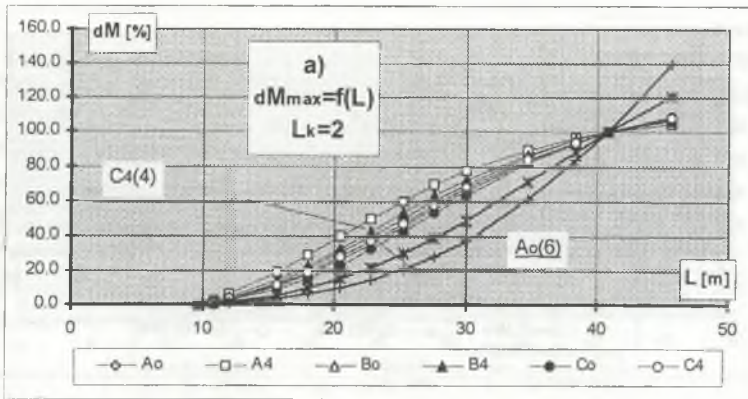


Rys.3.

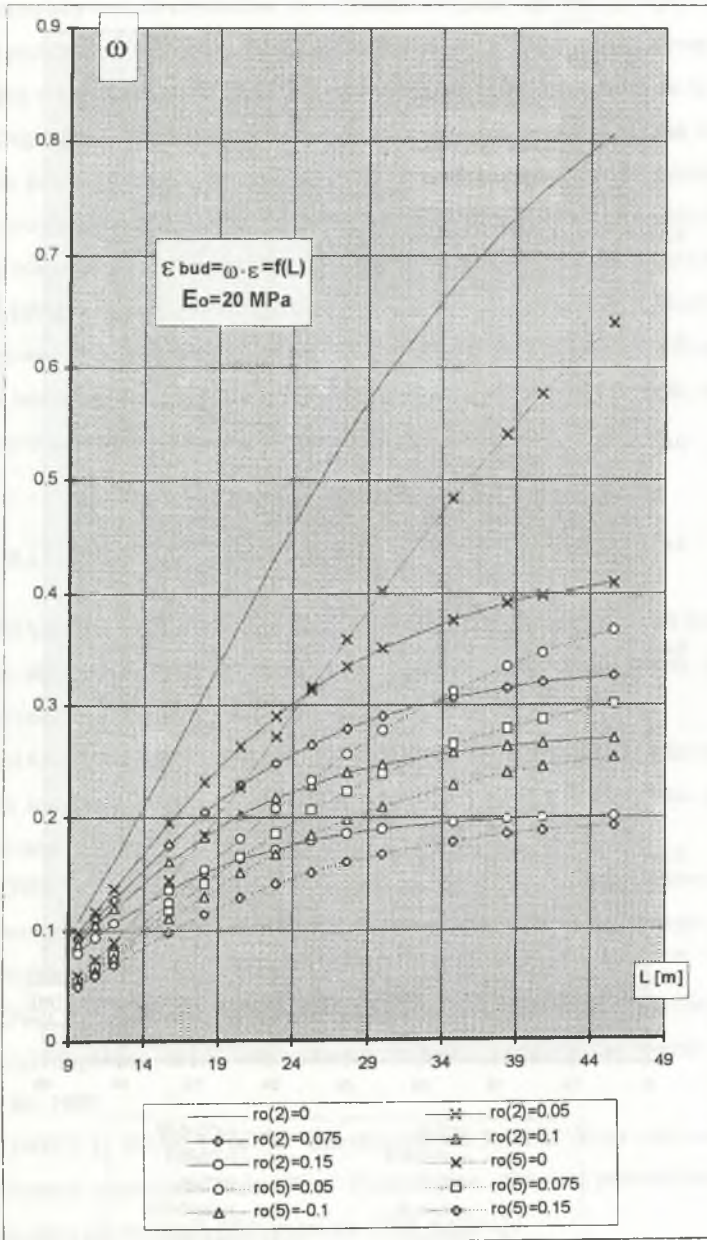




Rys.4.

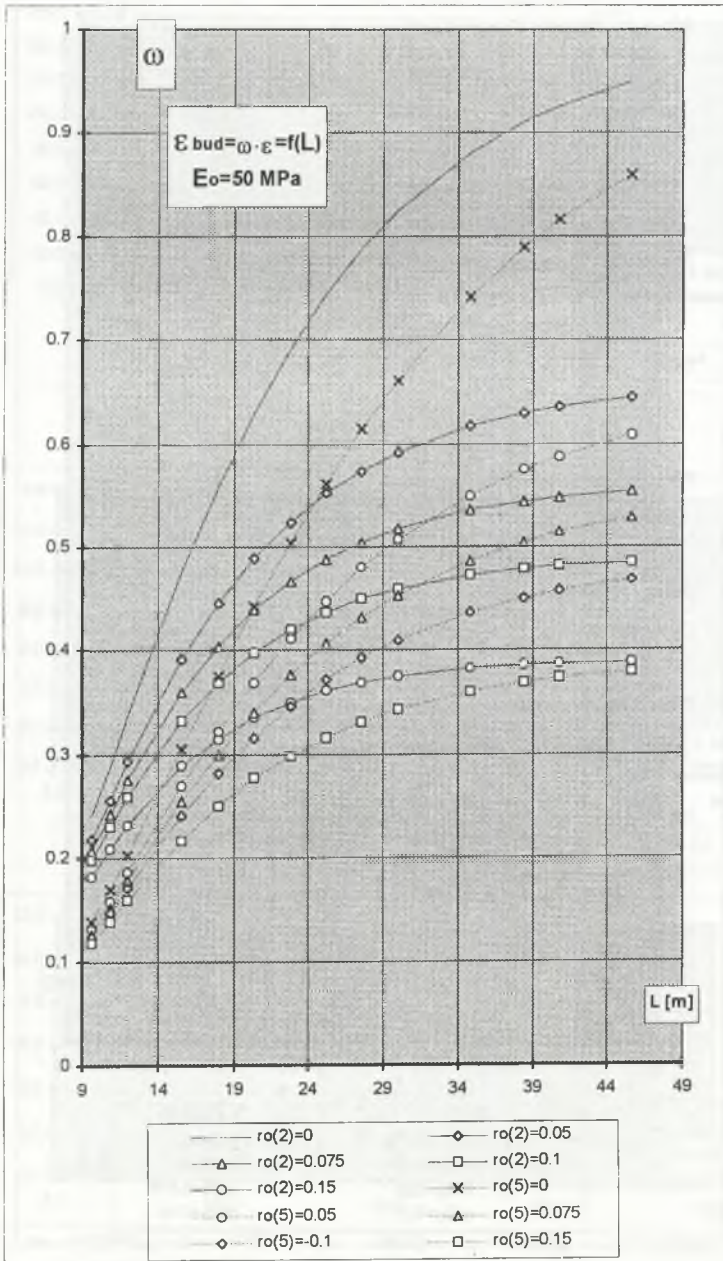


Rys.5.



Rys.6.





Rys.7.

Spośród rozpatrywanych czynników na wyężenia budynku najmniejszy wpływ ma wypełnienie rzutu poziomego (typ rzutu). Dla budynków o długości 20-35 m o ustalonej wysokości wpływ ten jest nie większy niż 20%. Z analizy odkształceń budynku wynika, że w przypadku konstrukcyjnego zapewnienia warunków współpracy ścian piwnic z nadbudową maksymalne odkształcenie poziome ściany nie przekroczy 75% wartości odkształcenia poziomego terenu górniczego, przy czym wartość ta jest tym mniejsza, im bardziej ściśliwe jest podłoże.

Z analizy odkształceń postaciowych ścian budynku wynika, że przy obciążeniach odpowiadających III kategorii terenu górniczego oraz średniej jakości materiału muru ( $E_m=1105$  MPa) można oczekiwać jeszcze bezpiecznej pracy konstrukcji budynków o  $L<35$ m, a prognozowane uszkodzenia budynku oraz utrudnienia w jego użytkowaniu kształtować się będą na poziomie dolnej granicy uciążliwości dużej ( $\gamma_{bud}=0.003$  - [5]).

#### LITERATURA

1. ANDERMANN F., FEDOROWICZ L., FEDOROWICZ J.: Przegląd badań teoretycznych nad pracą statyczną budynków o konstrukcji ścianowej zginanych na terenie górnicznym - modele przestrzenne i płaskie. OTG, nr 79, 1987.
2. ANDERMANN F., FEDOROWICZ L., FEDOROWICZ J.: Przegląd badań teoretycznych nad pracą statyczną budynków o konstrukcji ścianowej zginanych na terenie górnicznym - model rusztowy i belkowy. OTG, nr 80, 1987.
3. FEDOROWICZ L., FEDOROWICZ J.: Wpływ rozkładu sztywności monolitycznej kondygnacji piwnicznej na wartości sił osiowych w ławach rusztu fundamentowego przy poziomym rozluźnieniu terenu. OTG, nr 88, 1989.
4. FEDOROWICZ J., SZOCIK T.: Wpływ parametrów charakteryzujących geometrię ustroju na wartości uogólnionych sił wewnętrznych budynku zginanym na terenie górnicznym. OTG, nr 88, 1989.
5. FEDOROWICZ J., KAWULOK M.: Odkształceniowe kryteria oceny odporności budynków na terenach górnicznych. Mater. Konf. Nauk.-Techn. „Ochrona powierzchni i obiektów przed uszkodzeniami górnicznymi”, GIG, czerwiec 1997, Katowice.
6. KWIATEK J.: Wybrane problemy ochrony obiektów budowlanych na terenach górnicznych. Mater. Konf. Nauk.-Techn. II Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górnicznych, Ustroń, maj 1993.
7. MULLER F. P.: Baudynamik Neton-Kalender, 1978, Teil II.

8. PRACA ZBIOROWA: Sprawozdanie końcowe Projektu Badawczego Zamawianego PBZ-016-6 pt.: „Ochrona obiektów budowlanych przed szkodami powodowanymi podziemną eksploatacją górniczą”. Zadania nr 3.1., 3.4. i nr 4.1. Praca niepublikowana (maszynopis), archiw. GIG, Katowice 1997.
9. INSTRUKCJA 286. Wytyczne projektowania budynków o ścianowej konstrukcji nośnej poddanych wpływowi eksploatacji górniczej. Wyd. ITB, Warszawa 1989.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Bielak

### Abstract

There were presented the results of numerical analyses of masonry-buildings deformed in mining area.

The calculation were carried out for different subsoil parameters and geometry of the structure. The results make possible effective protection of the masonry structure in mining area and estimation of building strengthening.